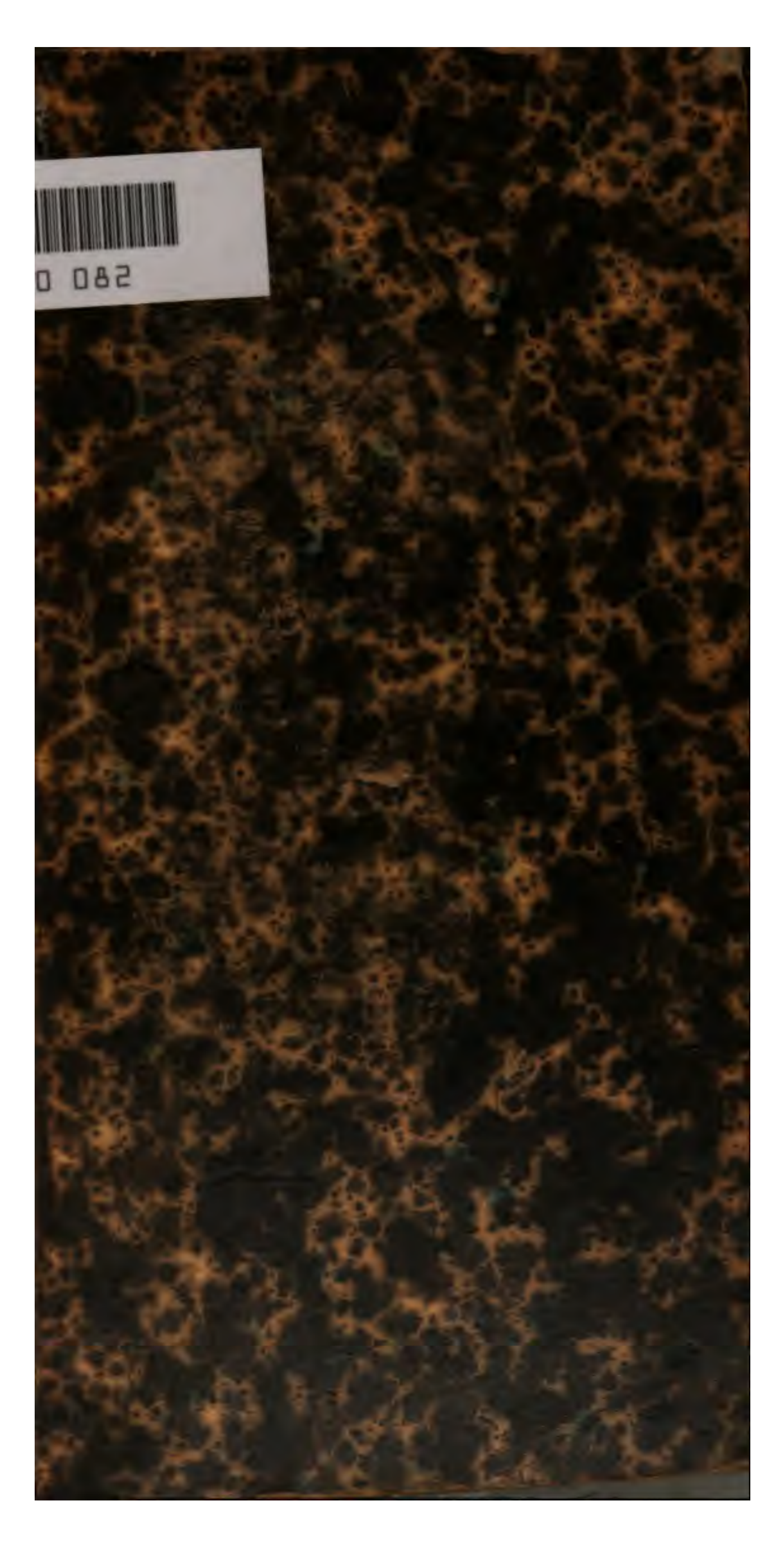
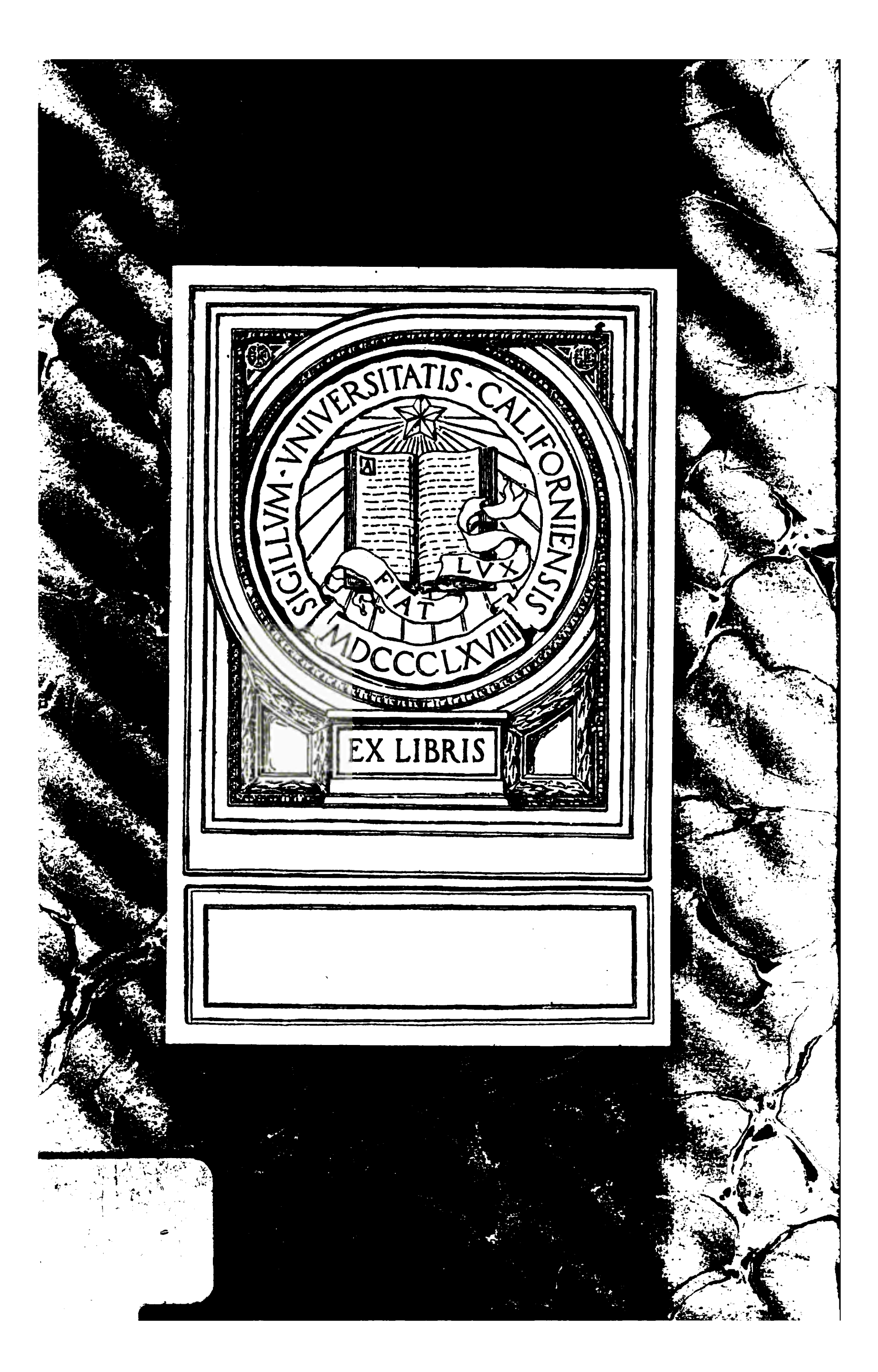
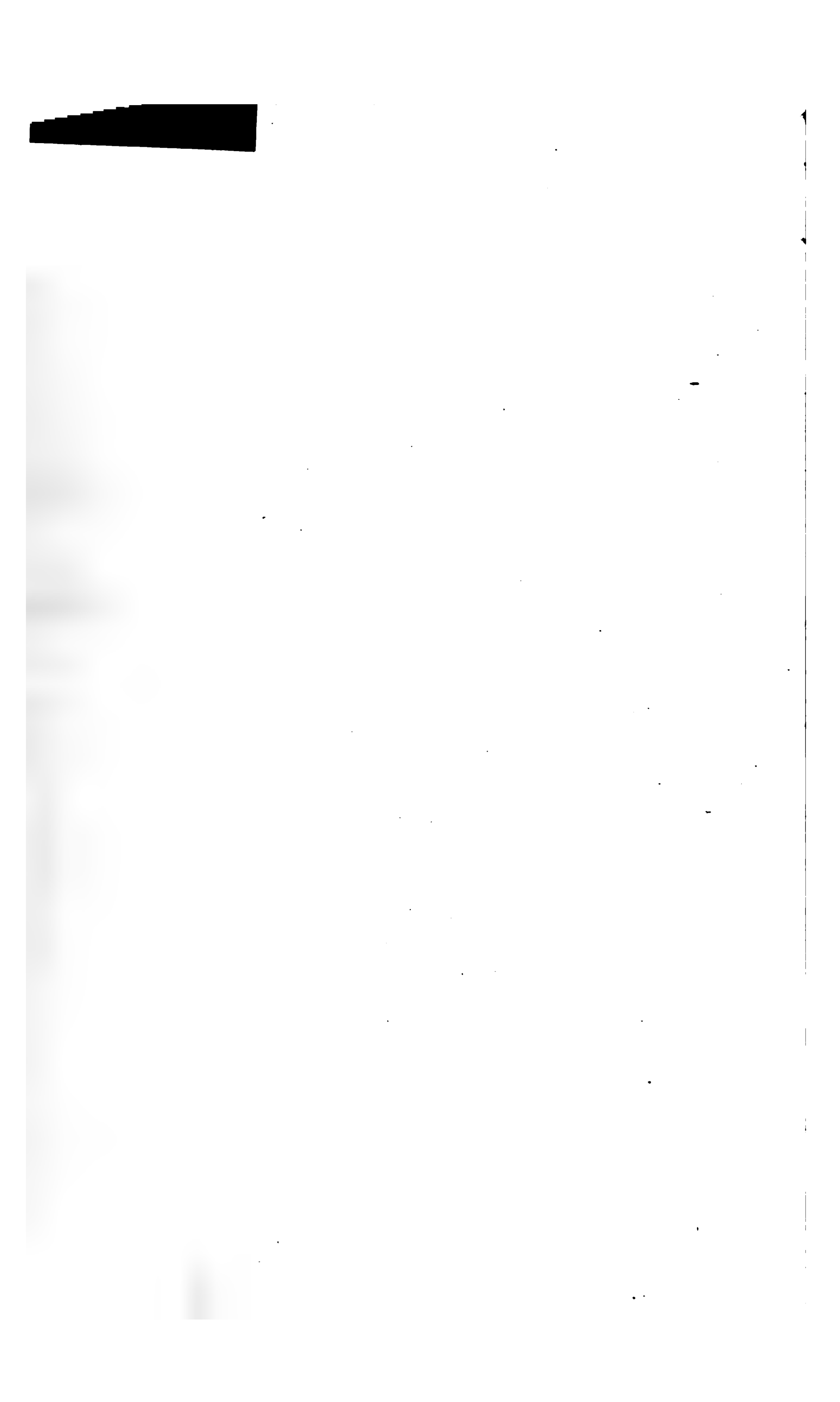

0 082


SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS





La Science et la Réalité

Bibliothèque de Philosophie scientifique

PIERRE DELBET

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

La Science et la Réalité

La Science ne garde aucune trace
de son origine humaine.

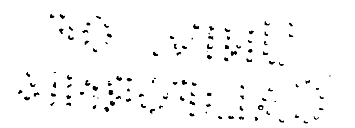


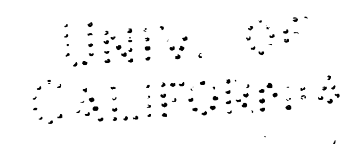
PARIS

ERNEST FLAMMARION, ÉDITEUR

26, RUE RACINE, 26

1913





PRÉFACE

C'est une grande audace pour un chirurgien d'écrire un livre de ce genre. Mais ce serait une palinodie de m'excuser de l'avoir fait. J'ai la sensation nette et précise d'être complètement dépourvu de libre arbitre. Je ne pouvais pas ne pas l'écrire.

Certaines personnes qui voyagent sont incapables de reconnaître sur une carte le point où elles se trouvent. Cette incapacité me serait intolérable.

J'éprouvais depuis longtemps un besoin violent de savoir où j'en suis du voyage scientifique qui est ma vie. Ce besoin est devenu peu à peu une torture : j'ai senti que je ne pourrais poursuivre mes travaux habituels qu'après avoir fait mon examen de conscience général.

Mon père avait été le disciple direct d'Auguste Comte et il est resté jusqu'à sa mort l'ardent apôtre de sa doctrine. J'ai donc été élevé dans les idées positivistes. Elles ne m'ont jamais satisfait complètement. La prétention de vouloir imposer des limites à la science me choquait. La hiérarchie des lois, conséquence inévitable de la doctrine de Comte, me causait une angoisse pénible.

Pour mon malheur, mon éducation a été dirigée dans la voie littéraire et j'ai fait une année de philosophie. On m'a enseigné de la métaphysique. J'ai passé par une crise terrible dont le souvenir m'est

encore douloureux. J'ai dévoré alors nombre d'ouvrages sans trouver la paix.

Quand il y a tant de réalités à apprendre et la belle langue mathématique, ratiociner sur des idées, repenser sa pensée m'apparaissait comme le travail le plus stérile qu'un cerveau puisse faire et je le considérai comme dangereux quand je m'aperçus qu'il conduit à jeter la suspicion sur la science. Cependant, j'en étais arrivé à douter de la réalité du monde extérieur.

Il n'est point dans mon tempérament de rester longtemps meurtri. Je me rattachai au positivisme qui donne au moins une base à la science, mais je m'y rattachai comme à un pis aller, plutôt par un acte de foi que par une véritable adhésion intellectuelle.

Pendant ma première année de médecine, je me fis inscrire au laboratoire de Lacaze-Duthiers et j'y passai toutes mes après-midi du semestre d'hiver. On me fit disséquer les ganglions nerveux des mollusques et étudier la radula des céphalopodes. J'étais assoiffé de biologie, on me faisait faire de la zoologie taxonomique.

Pendant les années qui suivirent, je fus absorbé tout entier par la préparation des concours d'externat, d'internat, d'adjuvat, de prosectorat, de chirurgien des hôpitaux, d'agrégation.

Je fus ensuite repris par mes préoccupations philosophiques. Je m'étais lié deux ans avant avec Félix Le Dantec, qui venait de sortir de l'Ecole normale. Depuis, notre communion intellectuelle est restée intime et profonde.

Progressivement je suis arrivé à quatre notions philosophiques qui me semblent être un oreiller sinon plus mol, du moins plus sûr que celui dont parlait Montaigne.

Le transformisme lamarckien permet de comprendre l'homme. C'est le seul garant, mais il est bon, de la valeur de son cerveau.

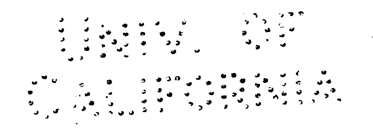
L'énergétique réalise l'unité rêvée de la science et débarrasse l'esprit de la hiérarchie des lois.

La théorie cinétique, en changeant l'échelle des problèmes scientifiques, réduit la notion de causalité à une nécessité arithmétique.

Certaines connaissances acquises sur les molécules et les atomes ont un caractère absolu.

Ces quatre notions permettent d'affirmer la valeur de la science.

C'est là ce que j'ai cherché à établir dans ce petit ouvrage avec l'espoir qu'il apportera quelque soulagement à ceux qui traversent les angoisses par où j'ai passé.



INTRODUCTION

Les notions scientifiques gagnent en généralité en même temps qu'en simplicité. La science s'achemine vers des principes très simples et d'une portée très générale.

L'étude plus pénétrante des phénomènes, qui sont des changements, conduit à la conception de quelque chose qui ne change pas. Les invariants sont imposés par l'observation de tout ce qui varie. C'est ce que proclament les principes de la permanence de la masse et de l'énergie.

La permanence s'accorde avec le changement par la tension de l'énergie qui se modifie sans cesse en évoluant vers l'uniformité.

La conquête de ces notions synthétiques devait être nécessairement préparée par une longue phase d'analyse où l'abstraction a joué un rôle capital.

Les phénomènes d'ensemble que nous offre la nature sont d'une effarante complexité. Pour les étudier avec fruit, il fallait envisager chacun d'eux isolément, c'est-à-dire faire abstraction de tout le reste.

L'abstraction, par une sorte de calembour, est devenue l'origine de discussions philosophiques irritantes.

D'autre part, cette étape indispensable d'analyse

abstraite a laissé dans la science plus de traces qu'il n'était nécessaire. Il y aurait eu grand avantage à les effacer, car elles gênent la synthèse.

La mécanique, qui est une des bases de la science générale, a été construite sous une forme tellement abstraite qu'elle a un caractère supraterrestre. Son orientation si précieuse pour l'astronomie a eu des conséquences fâcheuses pour l'étude des phénomènes qui se passent sur la terre. Elle a conduit à la conception des phénomènes réversibles.

Du point de vue de la mécanique rationnelle la réversibilité est possible et elle a pour conséquence le mouvement perpétuel. La mécanique a donné naissance au premier dissentiment entre la science et le bon sens.

L'observation la plus superficielle permettait de constater qu'un effet ne redevient jamais la cause de la cause qui l'a produit. Elle suffisait à établir l'irréversibilité des phénomènes, et, par suite, l'impossibilité du mouvement perpétuel. Sur ce point, l'ignorant était supérieur au savant et aujourd'hui encore, les rêveries sur le mouvement perpétuel sont le fait non des ignorants, mais des demi-savants.

Le principe de Carnot établit qu'il n'existe pas de phénomènes réversibles. Mais Carnot a cru démontrer son principe en s'appuyant sur l'impossibilité du mouvement perpétuel. C'était un véritable paralogisme. Aujourd'hui encore, les cycles réversibles, ou, au contraire, l'impossibilité du mouvement perpétuel, servent de points de départ à des raisonnements qu'il vaudrait mieux présenter d'autre façon.

Il n'existe pas de phénomènes réversibles. Tout phénomène laisse une trace définitive, l'empreinte du temps. Le principe de Carnot est le principe d'évolution, comme l'ont dit Langevin et Perrin.

A mesure que la science progresse, elle a moins besoin d'abstraction : elle devient plus capable d'envisager les phénomènes dans leur ensemble.

Il existe actuellement une sorte de désaccord entre nos connaissances et nos formules. Celles-ci n'expriment pas la totalité de ce que nous savons. Les formules des lois indiquent la constance d'un rapport entre un état antécédent et un état séquent, mais elles n'expriment pas ce qui se passe entre les deux états. Or, c'est l'étude de ce passage, c'est-à-dire du phénomène lui-même qui est l'objet de toutes les préoccupations, et elle a déjà donné des résultats d'une extrême importance.

En dehors de la cinétique et des vibrations, on ne tient compte, dans les formules, ni du temps, ni des modifications énergétiques.

Les formules sont en retard sur la science. Elles représentent la science d'hier, non celle d'aujourd'hui. Cette situation, qui ne peut durer, a de graves inconvénients et au point de vue philosophique et au point de vue de l'enseignement.

Si l'on tenait compte, dans tous les phénomènes, des modifications énergétiques, l'enseignement scientifique aurait une bien plus haute portée éducative. D'autre part, en conservant la forme primitive des lois qui ne tient pas suffisamment compte de l'état énergétique, on donne à la science une forme plus abstraite que ne comporte son état actuel et cela laisse prise à certaines discussions métaphysiques tout à fait surannées.

Celles-ci ont été réintroduites par les mathématiciens. Le point de vue mathématique, le plus abstrait de tous, ne peut fournir une base à la philosophie. Nous assistons, depuis quelques années, à un spectacle étrange. On est revenu aux mêmes discussions qui préoccupaient les scolastiques. Au lieu

de se mettre face à face avec la nature, bien des philosophes se sont placés, comme autrefois, en face de leurs idées. De là est née une sorte de psychologie métaphysique teintée d'un pâle lavis pseudoscientifique.

La philosophie suivant une évolution rétrograde tandis que la physico-chimie faisait d'énormes progrès, un précipice s'est creusé entre la philosophie et la science. Cette divergence, qui aurait pu être évitée, ne trouble guère le chercheur dans son laboratoire, mais elle entretient un certain malaise.

La philosophie ne peut plus avoir la prétention de diriger la science, mais elle a au moins le devoir de la suivre. La prudence même le lui commande, car, en cas de divergence, elle est bien sûre de ne pas triompher définitivement, mais elle peut stériliser pour un temps, et c'est ce danger qui lui donne une importance pratique.

La philosophie scientifique ne peut être basée que sur la biologie.

La mentalité d'un homme dépend de ses idées sur l'origine de l'homme.

Si l'on accepte le dogme de la création, on peut faire toutes les suppositions sur la valeur de nos sens et, par suite, sur celle de nos idées.

Avec le transformisme, au contraire, le cerveau humain apparaît comme le résultat de lentes adaptations successives. Son mode de formation garantit sa valeur. Il est forcément en harmonie avec la nature dont il fait partie.

Aussi me semble-t-il nécessaire d'exposer d'abord sommairement la doctrine transformiste.

La Science et la Réalité

LIVRE I

LE TRANSFORMISME

CHAPITRE I

Lamarck et Darwin.

Sommaire. — Évolution et adaptation. — Lutte pour la vie. — Néo-darwiniens. — Le transformisme tombe dans le fait divers. — Importance de la corrélation. — Les trois problèmes de l'évolution.

Lamarck le premier s'est élevé à la conception de la transformation des êtres vivants. Il a formulé la doctrine du transformisme sous une forme très générale, mais avec une puissance philosophique qu'on n'a pas dépassée et qu'on n'a pas besoin de dépasser.

Il a établi en s'appuyant sur la paléontologie que les espèces actuellement vivantes descendent d'espèces disparues. Elles sont le résultat de transformations.

Cette conception de l'évolution, si puissante qu'elle soit, n'est pas cependant la partie la plus géniale de l'œuvre de Lamarck.

Ce qui donne au transformisme toute sa force et sa fécondité, c'est la manière dont on explique les transformations. On est arrivé aujourd'hui à l'émas-

culer complètement par de prétendues explications fantaisistes.

Lamarck, d'un seul coup, était arrivé à une magnifique doctrine. Pour lui, les transformations sont produites par le milieu. Elles sont le résultat des réactions de la substance vivante sous l'influence des agents extérieurs. Les êtres s'adaptent aux conditions du milieu et les caractères acquis par adaptation se transmettent par l'hérédité.

Évolution, adaptation, hérédité des caractères acquis, tels sont les trois termes du transformisme lamarckien. C'est peut-être la plus prodigieuse conquête de la science ; c'est certainement la plus féconde. Elle affranchit l'humanité de la servitude théologique. Bien loin de diminuer l'homme, elle le grandit en lui apportant la certitude sur la valeur de ses connaissances.

Lamarck est arrivé à l'adaptation par une intuition géniale. Il a conçu cette idée que la fonction crée l'organe, mais il était impossible à son époque de dire par quel mécanisme et d'en donner une démonstration. C'est tout récemment qu'un grand progrès a été réalisé sur ce point et il l'a été par la pathologie générale.

Lamarck eut le sort de tous les précurseurs dont le cerveau a trop d'avance. Ses idées n'eurent aucun succès.

Darwin fut plus heureux et parce qu'il vint plus tard et parce qu'il fut moins puissant. Il admet, comme Lamarck, la descendance et la transformation, mais l'explication qu'il en donne est très incomplète. Il ne se préoccupe guère d'expliquer les modifications, ce qui est cependant le point capital. Sans chercher leurs causes, il s'efforce surtout de trouver comment elles persistent et il arrive à la doctrine de la sélection naturelle.

La lutte pour la vie supprime les faibles. Les forts, ceux qui sont mieux armés par l'acquisition de caractères nouveaux, triomphent et persistent. La loi, comme l'a dit Spencer, est la persistance du plus apte.

En vérité, quand on a admis le principe du transformisme on n'y ajoute rien en disant que les êtres qui ont survécu étaient les plus aptes à survivre.

Si simpliste et insuffisante que soit cette explication, il ne faut pas en faire fi, car, comme le remarque Delage, elle est basée « sur le jeu des forces naturelles, n'exigeant ni intervention divine, ni hypothèse finaliste, ni métaphysique quelconque ». C'est en raison de cette tendance scientifique qu'elle a soulevé des tempêtes.

Le calme s'est rétabli et il n'est plus un biologiste qui n'accepte l'idée d'évolution. Mais on a adultéré à tel point les doctrines primitives qu'elles ont perdu tout intérêt philosophique.

Depuis quelques années, les questions d'évolution ont causé un grand mouvement que je n'ose qualifier de scientifique. Le fait-divers y joue un rôle prépondérant. On instruit le procès de petits points de détail avec un luxe de procédure où le verbalisme tient plus de place que les idées et l'on se perd dans un maquis d'où l'esprit et la méthode scientifique sont bannis.

Ceux qu'on appelle les néo-lamarckiens sont restés assez fidèles aux grands principes de Lamarck; mais les néo-darwiniens se sont à ce point éloignés des idées de leur maître que l'un des plus illustres a été désavoué par son fils.

Actuellement la plupart des questions sont mal posées. Alors que l'évolution a tant de faits importants à expliquer, on discute sans fin sur de petites modifications morphologiques qui sont dénuées de

tout intérêt. On les entretient dans des ménageries ou des jardins à grands renforts de soins artificiels, alors qu'abandonnées à elles-mêmes, elles ne tarderaient pas sans doute à disparaître sans jouer aucun rôle dans l'évolution véritable.

Les spécialistes semblent hypnotisés par certains détails d'ordre esthétique et l'on voit reparaître dans toutes les discussions l'œnothère, les paons à épaules noires, les taches des ailes de papillon.

Il s'agit d'expliquer la formation des grands organes nécessaires à la vie des animaux supérieurs, par-dessus tout le développement du cerveau de l'homme et l'on discute sur la couleur des plumes. Il semble qu'on ait complètement perdu de vue ce qui fait l'intérêt du transformisme.

S'imagine-t-on que l'explication de ces petits points soit nécessaire à la compréhension des grandes questions et que l'explication qui conviendra aux premiers pourra être généralisée?

On le croirait vraiment quand on trouve dans les discussions des arguments de cet ordre : « Si vous n'expliquez pas pourquoi tel oiseau mâle a les plumes plus longues ou plus colorées que la femelle, le transformisme a vécu ».

On en rencontre de plus puérils encore. Ainsi certains lamarckiens pensent que le larynx des oiseaux chanteurs se développe parce qu'ils charment les femelles par leur chant. Les meilleurs chanteurs ont plus de succès, par suite une progéniture plus nombreuse à qui ils transmettent les qualités de leur larynx. A cette explication, Kelloog objecte ceci : « Lorsque les oiseaux chantent, la voix d'un mâle qui se trouve plus près peut parfaitement paraître à la femelle plus forte sans qu'il soit véritablement meilleur chanteur »[1].

1. J'emprunte cette citation à Delage et Goldsmith, p. 92.

Les oiseaux ont des ailes. Est-ce que la femelle dupée ne peut pas s'approcher à égale distance des deux rivaux et reconnaître son erreur? Est-ce que le transformisme n'est pas une question sérieuse qui doit être discutée avec des arguments sérieux?

Pour qui n'a pas été élevé dans les subtilités des écoles actuelles, ces discussions sont aussi irritantes que celles de la scolastique.

Et puis, on semble méconnaître les notions fondamentales de la physiologie. On étudie les modifications d'une partie du corps comme si elle était seule. Après avoir nié l'action du milieu extérieur, on oublie le milieu intérieur. On ne tient aucun compte de la corrélation dont le rôle est capital dans tous les organismes complexes. Les recherches modernes établissent que son importance est bien plus considérable qu'on ne l'avait cru. Elle produit beaucoup de phénomènes qu'on attribuait à tort à des réflexes. Les contractions du gros intestin sont provoquées par une hormone sécrétée dans le duodénum et dans la rate. Les cellules interstitielles du pancréas ont une action sur l'élaboration du sucre. Est-il besoin de parler des capsules surrénales, des parathyroïdes, de la thyroïde, du corps pituitaire? Oui, puisqu'on semble les oublier. Ainsi on a étudié pour elles-mêmes les modifications du squelette des moutons ancons. Ils avaient les pattes courtes et torses, comparables à celles des chiens bassets. L'altération du squelette était-elle primitive? N'était-elle pas secondaire à des lésions du corps thyroïde ou du corps pituitaire? Nous n'en savons rien, mais c'est fort possible, et cette possibilité rend stériles toutes les discussions dont ces malformations ont été l'objet.

Par la préoccupation du détail, par la méconnaissance du point de vue général, par la mauvaise posi-

tion des questions, on a énervé l'une des notions les plus puissantes et les plus fécondes auxquelles se soit élevé l'esprit humain. Certains savants qui croient être transformistes sont arrivés à déclarer que toutes les transformations sont prédéterminées dans le plasma germinatif. Cela n'est plus du transformisme; ce n'est plus de la science, c'est de la téléologie, de la métaphysique déguisée sous une forme matérialiste.

L'observation des faits, l'étude de la pathologie générale ramènera l'ordre dans le chaos des doctrines transformistes ou pseudo-transformistes. Il semble même que l'oscillation qui a entraîné les néo-darwiniens commence une marche descendante. L'idée puissante de Lamarck les étreint. Ils sont forcés de la réintroduire dans leurs systèmes. Je n'ai pas l'intention d'exposer ces divers systèmes ni d'en faire l'historique; mais je dois envisager les grands problèmes que pose le transformisme, car la philosophie scientifique dépend de la solution qu'on leur donne.

Pour que les êtres évoluent, il faut que des modifications paraissent; il faut qu'elles se transmettent, il faut qu'elles persistent. Toute doctrine évolutionniste doit donc envisager les trois problèmes suivants : 1° l'apparition des modifications; 2° leur transmission, c'est-à-dire l'hérédité; 3° leur persistance.

CHAPITRE II

Apparition des modifications.

SOMMAIRE. — Rôle du milieu. — Espèces élémentaires. — Observations de de Vries. — Mutations. — Relations du chimisme et de la morphologie. — Taux limite. — Les modifications morphologiques brusques sont révélatrices de modifications chimiques lentement progressives. — Equilibres morphologiques multiples.

Le transformisme doit comprendre tout le cycle de l'évolution.

Caractères de convergence.

Mécanisme de l'adaptation. — Assimilation fonctionnelle. — Notions tirées de la pathologie générale.

Les théories destinées à expliquer comment se produisent les modifications des êtres vivants sont de deux ordres.

Les unes les attribuent à l'influence du milieu. Les autres, sans tenir compte du milieu, les attribuent aux êtres vivants eux-mêmes.

Les premières découlent de la grande conception de Lamarck. Quant aux secondes, il serait tout à fait injuste d'en faire porter la responsabilité à Darwin, car il n'a jamais nié l'influence du milieu, et dans une lettre adressée à Moritz Wagner, en 1876, il a exprimé le regret de n'en avoir pas assez tenu compte. « La plus grande erreur que j'aie commise, écrit-il, est de n'avoir pas tenu suffisamment compte

de l'action directe du milieu, c'est-à-dire de l'alimentation, du climat, etc., indépendamment de la sélection naturelle. »

Ce sont les néo-darwiniens qui sont arrivés à ces conceptions qu'on est fort étonné de rencontrer dans des doctrines qualifiées de transformistes, car en réalité elles réintroduisent la création sous une forme imprévue.

L'illustre botaniste hollandais de Vries est de tous les néo-darwiniens celui qui a nié le plus complètement l'influence du milieu. Ses travaux ont eu un retentissement considérable, tant par leur méthode que par leur résultat.

Au point de vue de la méthode, de Vries croit avoir introduit l'expérimentation dans l'étude du transformisme. Au point de vue du résultat, il croit avoir assisté à la formation d'espèces nouvelles. Je ne suis pas sûr qu'il ait raison ni sur l'un ni sur l'autre point.

M. de Vries, dans ses cultures artificielles de l'œnothère de Lamarck, a observé douze modifications qui sont immédiatement héréditaires, c'est-à-dire qui se reproduisent par semis. Il considère quatre de ces modifications comme constituant des espèces nouvelles. Mais il commence par déclarer que l'espèce linnéenne est un groupement trop vaste et que certaines variétés doivent être considérées comme des *espèces élémentaires*. Cette distinction s'appuie sur une série de conceptions particulières. Pour de Vries, les caractères biologiques sont dus à des particules matérielles qu'il nomme *unités spécifiques*. Les variétés sont dues à ce que certaines particules restent à l'état latent, tandis que d'autres entrent en action. Au contraire, l'espèce élémentaire est caractérisée par l'acquisition de particules nouvelles.

Ce système est très cohérent et c'est par là qu'il peut faire illusion. Mais pour être cohérent, il n'en est pas moins tout à fait arbitraire. L'idée de particules représentatives fait partie d'un groupe de conceptions métaphysiques pseudo-matérialistes dont j'aurai à signaler d'autres exemples. Je me borne à constater ici que, pour affirmer qu'il a assisté à la formation d'espèces nouvelles, M. de Vries est obligé de donner de l'espèce une définition qui revient à la démembrer. L'espèce de M. de Vries n'est pas l'espèce telle qu'on l'entend d'ordinaire.

Sans doute il est extraordinairement difficile de donner une bonne définition de l'espèce; mais ce n'est pas en imaginant des particules tout à fait hypothétiques et d'un caractère antiscientifique qu'on éclairera la question. Si l'on s'en tient au sens usuel du mot, M. de Vries n'a pas vu se former d'espèces nouvelles. Il a assisté à l'apparition de variétés, et il a cela de commun avec une foule de jardiniers et un grand nombre d'éleveurs. S'imaginer qu'on a assisté à la naissance d'une espèce parce qu'on a déclaré que certaines variétés méritent le nom d'espèces, c'est se payer de mots.

Les études de M. Bouvier sur les crustacés atyidés sont à ce point de vue bien autrement intéressantes, puisqu'elles lui ont permis de constater des modifications évolutives qui font passer certaines espèces d'un genre à un autre.

Quant à l'introduction de la méthode expérimentale dans l'étude de l'évolution, il ne me semble pas que M. de Vries l'ait réalisée. Cette méthode consiste essentiellement à faire varier les conditions d'un phénomène pour observer le rôle de chacune d'elles dans sa production.

Dans les beaux travaux de M. de Vries, je vois beaucoup d'observations patientes et sagaces, mais

rien qui ait le caractère d'une expérience. Ce caractère existe très nettement, par contre, dans les tentatives qui ont été faites par divers auteurs pour adapter certaines espèces aquatiques à une salure plus ou moins considérable de l'eau, et même dans les traumatismes infligés aux graines et aux bourgeons par M. Blaringhem.

M. de Vries n'a rien fait de tout cela. Il a simplement observé des modifications de l'œnothère de Lamarck et constaté que certaines d'entre elles sont héréditaires. C'est à des observations et constatations de ce genre que nous devons bon nombre de nos races domestiques.

La principale préoccupation du savant botaniste paraît avoir été d'établir que le milieu n'a aucune action sur les modifications des êtres vivants.

C'est une conception bien étrange. Les corps bruts eux-mêmes ne peuvent être séparés du milieu, et encore bien moins les êtres vivants. « L'idée de vie, a dit Auguste Comte, suppose constamment la corrélation nécessaire de deux éléments indispensables, un organisme approprié et un milieu convenable. C'est de l'action réciproque de ces deux éléments que résultent nécessairement tous les phénomènes vitaux. »

S'imaginer qu'une plante peut modifier sa forme en dehors de toute intervention du monde extérieur, c'est concevoir la vie comme capable d'évoluer par elle-même, c'est donner des propriétés à une abstraction, c'est en faire une entité métaphysique.

Une modification qui survient chez un être vivant ne peut s'expliquer que de deux façons. Il faut, ou qu'elle soit due à une réaction de cet être sous l'influence du milieu, ou qu'elle soit prédestinée. Il n'y a pas place pour une autre hypothèse. Ceux qui nient l'influence du milieu sont condamnés ou bien

à entrer dans la voie des concessions qui conduisent au lamarckisme, c'est-à-dire à la négation même de leur doctrine, ou bien à accepter sous une forme plus ou moins déguisée la prédestination qui philosophiquement ne diffère guère de la création.

Car ce n'est pas une échappatoire que d'attribuer les modifications au hasard. Le hasard n'est pas, en effet, l'indétermination. Il n'exclut pas du tout le rôle du milieu. C'est l'ensemble des petites causes qui échappent à notre analyse [1].

Les modifications constatées par M. de Vries sont brusques, et on ne trouve pas entre elles de formes intermédiaires de passage. C'est ce que l'on exprime en disant qu'elles sont discontinues. M. de Vries leur donne le nom de mutations.

On a fait grand état de cette discontinuité contre le transformisme adaptatif en supposant *a priori* que les modifications dues à l'influence du milieu devraient être continues. Cette supposition n'est-elle pas puérile?

La morphologie que l'on étudie spécialement dans ces cas n'est qu'un symptôme, si l'on peut ainsi parler, un symptôme révélateur d'une modification chimique. Aucun biologiste n'ose plus nier la relation entre le chimisme des êtres et leur forme. L'étude de ce chimisme présente d'extrêmes difficultés. Elle a cependant déjà donné des résultats. M. Armand Gautier a établi que la constitution chimique des matières colorantes des vins et de leurs essences varie suivant les espèces et même les races de vignes. Les caractères des cristaux d'hématine lui ont servi à montrer que l'hémoglobine n'est pas une substance constante et qu'il y a autant de variétés d'hémoglobine que d'espèces animales. Les albumines des

1. Cette définition du hasard est très insuffisante. Je reviendrai sur cette question dans un chapitre spécial.

diverses espèces se distinguent les unes des autres. Ces recherches précises ont un énorme intérêt. On peut espérer qu'un jour viendra où le chimiste sera capable de déterminer en examinant un tissu, la forme de la plante ou de l'animal dont il provient, non point, comme le faisait Cuvier, par des rapprochements morphologiques, mais par l'étude physico-chimique des protoplasmas.

Ce qu'aucun chimiste ne peut faire dans son laboratoire est aisément réalisé par des ignorants grâce au goût et à l'odorat. Chacun reconnaît l'odeur d'une rose, d'une violette, de la verveine ou du jasmin, et est par conséquent capable d'établir une relation précise entre une essence hydro-carbonée et la forme spécifique de la plante qui l'a produite. De même un gourmet distingue aisément la chair d'une langouste de celle d'un homard, l'aile d'un poulet de l'aile d'un faisan, le foie d'une oie de celui d'un canard, distinctions qu'aucun histologiste, aucun chimiste ne saurait établir.

Le goût et l'odorat nous permettent de faire de l'anatomie générale, puisqu'ils savent reconnaître, par exemple, ce qu'il y a de commun dans le parenchyme hépatique de divers animaux et de la taxonomie chimique, puisqu'ils permettent de distinguer des animaux très voisins, comme le poulet et le faisan.

Les relations entre le chimisme et la forme ne sauraient être mises en doute. Les modifications morphologiques sont liées à des modifications chimiques.

Si ces relations sont certaines, nous ne savons pas quelles lois les régissent. Il est cependant bien clair que beaucoup d'argumentations sont dépourvues de tout caractère scientifique. Ainsi on a fait état des modifications brusques de la couleur des

fleurs et on semble vraiment supposer que ces modifications se produisent comme dans les mélanges qu'un peintre fait sur sa palette. C'est oublier que les fabricants s'appliquent à préparer des couleurs qui n'aient pas d'action chimique les unes sur les autres. Au contraire, les changements de couleur des fleurs et des fruits sont dus à des modifications chimiques. Or, dans les réactions colorantes nous ne voyons pas la couleur passer par toutes les parties du spectre. Le mélange du réactif et de la substance à étudier ne prend pas la coloration que le mélange des deux couleurs donnerait sur une palette, mais une coloration toute différente. Tantôt le changement de couleur ne se produit qu'un certain temps après l'adjonction du réactif. Tantôt il se produit brusquement, non pas dès qu'on verse le réactif, mais seulement quand on en a versé une certaine quantité.

D'autre part, le bacille pyocyanique perd ou retrouve ses propriétés chromogènes dans des milieux de culture dont les différences sont si faibles que souvent elles échappent.

Tout cela montre qu'il est déraisonnable d'exiger que les modifications de couleur soient continues. Cela montre encore, ce qui est beaucoup plus important, que dans certaines espèces les modifications chimiques peuvent être considérables sans se révéler morphologiquement. Elles arrivent au taux limite compatible avec la forme. Il suffit alors d'une très petite adjonction quantitative pour qu'une modification morphologique se produise brusquement, comme la couleur se modifie brusquement quand on ajoute à un mélange une goutte de plus du réactif. La modification morphologique brusque est simplement révélatrice d'une modification chimique lentement progressive.

D'autre part, nous savons qu'à un même équilibre chimique correspondent parfois plusieurs équilibres morphologiques. Le Dantec a très justement insisté sur ce point. Le soufre est capable de cristalliser dans deux systèmes différents, le système prismatique et le système octaédrique. Mais il ne donne jamais de cristaux intermédiaires à ces deux systèmes — et même l'expression de forme intermédiaire est ici dépourvue de sens.

Beaucoup de végétaux fournissent des exemples du même genre. La *renouée amphibie* est célèbre à ce point de vue. Suivant qu'elle pousse sur la terre ou dans l'eau, elle revêt deux formes différentes (la forme natans et la forme terrestre), entre lesquelles il n'y a pas d'intermédiaire. Sous ces deux formes, c'est toujours la même plante. Si on la fait pousser dans l'eau, elle prend la forme natans; si on la fait pousser hors de l'eau, elle revêt la forme terrestre. Et même quand la forme natan pousse des feuilles hors de l'eau, celles-ci prennent la morphologie de la forme terrestre.

On n'a donc pas le droit de tirer de la brusquerie de certaines modifications morphologiques un argument contre le transformisme adaptatif; on n'en a pas le droit, et parce que à un même équilibre chimique peuvent correspondre des équilibres morphologiques différents, et parce que des modifications chimiques progressives peuvent atteindre un certain taux sans retentir sur la morphologie, puis la modifier brusquement quand ce taux est dépassé.

Il est stupéfiant qu'on ait attaché tant d'importance aux constatations de M. de Vries, d'autant plus qu'elles n'ont rien de nouveau. Les variations brusques ont été constatées un grand nombre de fois. Darwin les connaissait; il leur donnait le nom de sports. On a constaté depuis longtemps que beau-

coup d'entre elles sont héréditaires ; un certain nombre de nos races domestiques leur doivent leur origine.

Il y a cependant dans les observations de M. de Vries quelques faits du plus haut intérêt, car ils sont une admirable démonstration de l'influence du milieu. Je n'ai pas besoin de dire que ce n'est pas sur ceux-là qu'il insiste.

M. de Vries a surtout observé l'œnothère de Lamarck. Cette plante, d'origine américaine, s'était développée près de la forêt d'Hilversum, dans un champ de pommes de terre abandonné. Il ignore qui l'avait transportée là et suppose que les graines étaient venues d'une propriété voisine. Il remarqua que dans ce champ abandonné la plante présentait de nombreuses variétés, et c'est ce qui lui donna l'idée de la cultiver dans son jardin botanique d'Amsterdam. Les mutations y furent fréquentes et variées, et M. de Vries constata qu'elles provenaient d'un grand nombre d'individus. De là sa cinquième loi : « *Les mêmes espèces élémentaires peuvent provenir d'un grand nombre d'individus* ». Il a été conduit par là à penser que certaines espèces sont en état d'équilibre instable : conclusion très légitime. Les mutations ne sont pas le point important. C'est l'équilibre instable qui est intéressant, et il est dû à l'influence du milieu. On se trouve donc en présence d'un fait d'adaptation tout à fait contraire à la doctrine de M. de Vries [1].

D'autre part, dans le champ de pommes de terre abandonné près de la forêt d'Hilversum, l'œnothère

1. Il faut noter que Bateson, Vernon, Leclerc du Sablon se sont demandé si l'œnothère de Lamarck n'était pas un hybride. S'il en était ainsi, les constatations de de Vries n'auraient plus d'intérêt. Mais c'est une hypothèse dont la démonstration n'est pas faite.

présentait assez fréquemment deux variétés (brœvistylis et brœvifolia) qui ne se sont jamais produites dans le jardin d'Amsterdam. N'est-ce pas la preuve que le milieu a une influence considérable?

Quand on examine les faits sans idées préconçues, on retrouve partout l'influence du milieu, car c'est le grand maître. C'est lui qui a façonné tous les êtres et détruit ceux qui n'ont pas pu s'adapter.

L'adaptation de ceux qui existent est si précise qu'elle ne peut pas ne pas frapper l'observateur le plus superficiel. Dire d'un être vivant qu'il est adapté à son milieu, c'est faire un pléonasme. La sujétion des êtres vivants aux circonstances extérieures est si étroite qu'aucun ne pourrait vivre s'il n'était adapté. L'adaptation fait partie de la définition même de la vie.

C'est le mécanisme de l'adaptation qui est en question. Certains néo-darwiniens vont jusqu'à dire que si les animaux sont adaptés, c'est non pas parce qu'ils se sont modifiés sous l'influence du milieu mais, au contraire, parce qu'ils ont adopté un genre de vie en rapport avec les modifications accidentelles, les mutations qui se sont produites par hasard.

Pour eux, ce n'est pas parce qu'ils ont pris l'habitude de vivre sur l'eau que les canards ont les pattes palmées, c'est au contraire parce qu'ils ont les pattes palmées qu'ils vivent en partie sur l'eau.

Que Dieu ait créé l'homme à son image, ou que les hommes aient imaginé Dieu à la leur, dans les deux cas on est sûr de la ressemblance. De même pour les oiseaux aquatiques, dans les deux hypothèses on est sûr de l'adaptation, mais l'une des deux hypothèses n'est, en somme, qu'une explication téléologique. Dire que les canards vivent sur l'eau parce qu'ils ont des pattes palmées, ou dire qu'ils

ont des pattes palmées pour vivre sur l'eau, ce n'est pas très différent. Quand je lis des affirmations de ce genre, je ne puis m'empêcher de penser à un certain catéchisme que j'ai eu entre les mains. On demandait au catéchumène : « Que pensez-vous des monstres ? » et le catéchumène devait répondre : « Ils prouvent la toute-puissance de Dieu qui les a faits si terribles, et sa grande bonté qui les tient éloignés des villes ». La palmure des pattes des oiseaux aquatiques, si elle est le fait de mutations accidentelles, prouve aussi la toute-puissance du hasard et en même temps sa clairvoyance.

L'absurdité d'une telle hypothèse n'apparaît pas avec évidence quand il s'agit de caractères d'une importance secondaire comme la palmure des pattes. C'est pour cela peut-être que les néo-darwiniens se complaisent dans l'étude de faits d'aussi peu d'importance et même d'importance encore moindre. Je ne me laisserai pas entraîner à discuter ces points de détail. J'avoue bien volontiers que je ne sais pas pourquoi les paons ou les faisans vénérés ont une queue si ridiculement disproportionnée avec leur corps. Que le hasard pris dans le sens que j'ai indiqué précédemment (page 19) ait joué là un rôle, je suis tout prêt à l'admettre, mais j'ajoute que cela m'est tout à fait indifférent, car ce n'est pas dans des détails de ce genre que réside la question du transformisme.

Si l'on s'en tient aux grands caractères vraiment adaptatifs, l'absurdité de l'hypothèse à demi téléologique devient évidente.

Les animaux marins ont un appareil respiratoire qui leur permet de puiser l'oxygène dans l'eau, et qui diffère de celui des animaux terrestres. Dira-t-on qu'ils vivent dans l'eau parce qu'ils ont des branchies, et que les animaux terrestres n'y vivent pas

parce qu'ils ont des poumons ? L'embryologie et la paléontologie prouvent qu'historiquement les branchies ont précédé les poumons. Peut-on admettre que brusquement, par mutation, un poumon complet ait apparu chez les enfants d'un animal pourvu de branchies? Et puis, il faudrait encore admettre que les branchies avaient de même brusquement paru chez on ne sait quel animal.

Les néo-darwiniens prennent pour objet de leurs études non seulement des caractères de faible importance, mais des caractères qui ne peuvent exister que chez des êtres déjà très différenciés. Ils font commencer l'étude de l'évolution à un moment où celle-ci a déjà accompli ses prodiges les plus étonnants, et où ce qui lui reste à faire n'a plus qu'une importance très secondaire. Ils semblent ne pas se préoccuper de ce qui fait l'intérêt principal de la question. Cette orientation de beaucoup de travaux a conduit à ce résultat paradoxal que des zoologistes qui se disent et se croient transformistes raisonnent comme des théologiens. De là sont nées des théories bâtardes dont les conséquences sont très graves au point de vue philosophique, car, sous des apparences transformistes, elles conduisent à des conclusions qui n'ont plus rien de scientifique.

Le transformisme doit comprendre tout le cycle de l'évolution de la substance vivante depuis son origine jusqu'à son état actuel. Une théorie qui ne part pas de la première cellule ne saurait avoir d'intérêt philosophique.



L'étude de certains organes très différenciés peut cependant avoir une grande importance.

Ainsi, on trouve chez des animaux très éloignés et d'origines différentes des caractères communs.

C'est ce qu'on appelle les caractères de convergence.

Pour les lamarckiens, ils s'expliquent aisément. Les caractères de convergence sont des solutions identiques ou voisines du même problème qui s'est posé à des êtres par ailleurs très différents. Sous une autre forme, les mêmes conditions extérieures ont amené chez des animaux différents la formation d'organes similaires.

Tous les caractères de convergence sont des caractères d'adaptation et peut-être tous les grands organes sont-ils des caractères de convergence.

Un très grand nombre d'animaux ont un cœur, un foie, des reins. Peut-on admettre qu'ils descendent tous d'un même ancêtre commun chez qui ces organes fondamentaux se seraient développés par hasard?

L'aile est un caractère de convergence : c'est l'un des organes qui ont été le plus manifestement créés par la fonction. Des êtres très différents sont arrivés à se soutenir dans l'air, des insectes, des oiseaux, des mammifères : on peut même y ajouter des poissons. L'aile des chauves-souris est une main palmée. L'aile des oiseaux a pour origine la patte des grands reptiles. J'ignore l'origine de l'aile des insectes, mais elle est sûrement toute autre. Comment admettre que le hasard ait produit brusquement, par mutations, ces diverses variétés d'aile alors que la paléontologie montre la filiation de certaines d'entre elles?

La forme générale de tous les vertébrés qui vivent dans l'eau est à ce point comparable que l'on ne pourrait se douter, à l'envisager seule, qu'ils ont des origines très différentes. Et cependant, si la plupart sont des poissons, les cétacés sont des mammifères, qui n'ont pas le même ancêtre. Pour ces

derniers, la forme du corps est un caractère de convergence : il est impossible de n'y pas voir le résultat d'une adaptation.

Les ancêtres de la baleine ont marché : le fémur rudimentaire et inutile qu'elle porte encore en est la preuve.

Par la forme générale de son corps, elle est poisson, c'est-à-dire accommodée à la vie aquatique. Elle fournit un bon exemple de la transformation adaptative par l'usage. Au contraire, l'atrophie de son fémur est un exemple de régression par défaut d'usage. D'autre part, malgré sa vie aquatique, son appareil respiratoire est resté aérien, ce qui s'explique aisément par la facilité avec laquelle elle peut venir respirer à la surface. Mais ce mode de respiration révèle sa présence et permet de la harponner. Ses poumons la feront disparaître. La baleine est une sorte de résumé du transformisme.

*
* *

Quelques transformations d'origine adaptative peuvent bien se produire brusquement; mais la brusquerie n'est qu'apparente : ces modifications sont le résultat de changements chimiques lentement préparés. Il faut toujours un grand nombre de générations pour que les effets de l'adaptation se manifestent. D'autre part, il est bien probable, Le Dantec l'a montré, que la stabilité chimico-morphologique augmente avec l'évolution. Aussi est-ce surtout chez des êtres simples et qui se reproduisent très rapidement que l'étude expérimentale de l'adaptation est possible. Les microbes qui donnent par jour plusieurs milliers de générations sont les êtres les plus favorables à cette étude. On sait qu'on arrive aisément à augmenter ou à

diminuer leur virulence. L'exemple de la bactéridie charbonneuse a été souvent cité.

En inoculant une bactérie non virulente pour le mouton à une jeune souris, puis à une souris adulte, puis à un cobaye, on la modifie de telle sorte qu'elle devient capable de tuer un mouton. Les exemples d'adaptation de microbes sont très nombreux et très significatifs.

Les néo-darwiniens dénient toute valeur aux constatations faites chez les êtres monocellulaires. Ils n'en ont vraiment pas le droit. Car, même chez les êtres les plus compliqués, les phénomènes d'adaptation sont toujours cellulaires. La différence entre les protozoaires et les métazoaires tient seulement à la corrélation et à la coordination dont beaucoup de néo-darwiniens ne semblent pas extrêmement préoccupés d'ordinaire.

Mais les exemples d'adaptation sont si nombreux qu'il est aisé de satisfaire leurs exigences.

Il suffit de retourner l'exemple que je rappelais. Si l'on exalte facilement la virulence du microbe, on peut aussi accroître la résistance de ses victimes ordinaires. C'est le but et le résultat des vaccinations. L'animal vacciné acquiert, par adaptation, la propriété de lutter contre le microbe et d'en triompher.

Les phénomènes naturels fournissent quantité d'exemples du même genre. D'ailleurs, les vaccinations artificielles sont nées de l'immunité conférée par certaines maladies à ceux qui en guérissent. Des phénomènes identiques se produisent chez les végétaux. N'avons-nous pas vu nos vignes françaises détruites par le phylloxéra alors que les vignes américaines adaptées par des luttes anciennes lui résistent parfaitement. Et aujourd'hui les vignes américaines succombent à l'oïdium alors que nos vignes françaises savaient lui résister.

Je ne crois pas qu'il soit utile de citer beaucoup d'exemples d'adaptation. Il suffit d'ouvrir les yeux pour en trouver par centaines.

Le point important, c'est le mécanisme de l'adaptation.

***

Cope a étudié avec un soin extrême et les conditions des modifications et les étapes successives par lesquelles elles passent. Il distingue deux catégories de conditions modificatives.

Les unes, physico-chimiques, agissent directement et constituent la physiogénèse.

Les autres sont dues à l'usage ou au non-usage des organes. Les êtres réagissent aux excitations du milieu par des mouvements et les mouvements produisent la variation. Ce groupe de conditions constitue la cinétogénèse : c'est l'idée lamarckienne. Cope l'a développée; il en a montré des applications particulières en étudiant minutieusement les diverses phases du développement ontogénique de certaines articulations et de la colonne vertébrale.

Ces recherches sont très intéressantes comme démonstration de l'adaptation, mais elles ne concernent pas son mécanisme. Sur ce point particulier, les conceptions de Cope deviennent obscures : il invoque une sorte d'énergie de croissance à laquelle il donne le nom de bathmisme. Le bathmisme n'est pas une entité métaphysique, c'est un mode de mouvement. Par là, la conception de Cope paraît se rattacher à l'énergétique, mais il est difficile d'y trouver une explication de l'adaptation.

Assimilation fonctionnelle. Loi de Le Dantec. — A mon sens, Le Dantec est le premier qui ait expliqué le mécanisme de l'adaptation lamarckienne.

L'explication est fournie par sa loi de l'assimilation fonctionnelle qui est la base même de la biologie. Elle montre que l'adaptation est non pas un accident, mais le phénomène principal de la vie. Elle explique la manière dont se sont constitués tous les organes, y compris le cerveau, de telle sorte que c'est d'elle qu'il faut partir pour apprécier la valeur de la science.

Il me paraît donc indispensable de résumer dans cet ouvrage la conception de l'assimilation fonctionnelle.

L'énergie qu'utilisent les êtres vivants est de l'énergie chimique. Ils l'empruntent aux aliments, c'est évident, mais ils ne brûlent pas les aliments directement : ils les digèrent d'abord puis les incorporent plus ou moins transformés. Dans leurs tissus, les matières alimentaires prennent deux formes, la forme protoplasmique de nature albuminoïde, qui est la matière réellement vivante, d'une part, et d'autre part, la forme de réserves, qui comprend des graisses, des hydrocarbures et, sans doute aussi, certaines matières albuminoïdes. Ces réserves sont formées de matières non vivantes.

Le point capital est de déterminer ce qui se passe lors du fonctionnement. Quand une cellule fonctionne, à quels matériaux emprunte-t-elle son énergie? Est-ce à la matière vivante, à son propre protoplasma ou bien aux réserves qui ne sont pas vivantes?

Claude Bernard a tranché la question dans le premier sens. Pour lui, la substance vivante se détruit en fonctionnant. Le fonctionnement étant l'acte vital, on comprend qu'il ait été conduit à son paradoxe célèbre : « la vie c'est la mort ».

La doctrine de Claude Bernard a été universellement acceptée. Tous les physiologistes admettaient

avec lui que la substance vivante se détruit en agissant et se répare par le repos.

C'est là ce qu'on m'enseignait quand j'étais au collège et comme en même temps on me faisait faire de la gymnastique pour développer mes muscles, j'éprouvais un grand malaise intellectuel. Puisque la contraction détruit les muscles, pourquoi, me disais-je, fait-on contracter les miens pour les développer? Mais je voyais bien que l'exercice grossissait mon biceps. J'étais fort embarrassé, car tout était contradictoire.

On affirmait scientifiquement que la contraction use le muscle et l'expérience montre que l'exercice le développe. On affirmait que le muscle usé par le fonctionnement se répare pendant le repos et l'expérience prouve que l'inaction amène son atrophie.

La loi d'assimilation fonctionnelle supprime ces contradictions angoissantes.

Bien loin de se détruire, la substance vivante, le protoplasma, assimile en fonctionnant. Ce sont les réserves qui sont détruites par le fonctionnement.

La substance vivante emprunte l'énergie aux réserves tandis qu'elle-même assimile.

C'est le contre-pied de la doctrine de Claude Bernard. Aussi, la loi d'assimilation fonctionnelle a-t-elle été mal accueillie.

Cependant les travaux des chimistes avaient déjà mis sur la voie de cette notion capitale. E. Pfluyer avait établi de 1872 à 1876 que le protoplasma ne se sert pas de l'oxygène pour se brûler lui-même. Comme le dit Dastre, « le protoplasma n'est que le foyer, le théâtre ou le facteur de la combustion et il n'en est pas la victime : il n'en fournit pas lui-même l'aliment. Il opère comme le chimiste, qui réalise une réaction avec les matières premières mises à sa disposition ». En 1883, Armand Gautier a établi

« que dans l'intimité du protoplasma de la cellule animale vivante, le fonctionnement est anérobie ». Les phénomènes de combustion s'accomplissent hors de la cellule, ce qui revient à dire qu'ils se produisent aux dépens des réserves.

La notion de l'assimilation fonctionnelle se répand de plus en plus. Dans son récent volume sur la vie et la mort, Dastre écrit : « La majorité des physiologistes incline à croire à la destruction de la substance vivante par suite de son fonctionnement même. Le fonctionnement détruirait donc, non seulement les réserves, mais aussi le matériel protoplasmique. Telle est l'opinion régnante. Seulement cette opinion se trouve singulièrement atténuée par suite des enseignements positifs de la science. Il est sûr que le matériel, dans le muscle, est peu atteint, s'il l'est ».

Pour les êtres simples, monocellulaires, les microbes, les levures, fonctionner et assimiler, c'est une seule et même chose, c'est vivre. Pour eux, le mot de Cl. Bernard « la vie, c'est la mort », même envisagé comme un paradoxe, est complètement dépourvu de sens. C'est quand elle transforme la plus grande quantité de sucre en alcool que la levure de bière se multiplie le plus rapidement.. Quand le mycoderma aceti transforme énergiquement le vin en vinaigre, sa multiplication produit ces paquets gélatineux que les ménagères appellent des *mères*. La bactéridie charbonneuse se multiplie à tel point, chez l'homme qu'elle va tuer, que le sang en est rempli. Dans tous ces cas, l'assimilation fonctionnelle est évidente.

On a pu se demander s'il est légitime d'étendre cette notion aux êtres complexes. Cette extension me paraît non seulement légitime, mais nécessaire. A proprement parler, ce n'est ni une extension, ni

une extrapolation, ni une généralisation, ce n'est rien du tout, car tous les phénomènes actifs chez les êtres les plus complexes se passent dans les cellules, dans le protoplasma cellulaire, et tous les protoplasmas ont un certain nombre de propriétés communes : les plus générales, celles-là mêmes qui caractérisent la vie élémentaire.

Cependant bien des esprits amoureux du mystère, choqués dans leurs habitudes par les réalités scientifiques, se refusent à admettre cette extension sous prétexte que la logique y tient trop de place. Je le répète, il n'y a là aucune opération logique, car il n'existe pas de différence foncière entre un être monocellulaire et une cellule d'un organisme complexe.

Il est évidemment fort difficile de donner une démonstration expérimentale directe de l'assimilation fonctionnelle chez les êtres très évolués, chez l'homme par exemple, mais on peut en donner une démonstration indirecte.

L'énergie qui a été incluse dans un composé chimique complexe lorsqu'il s'est formé ne peut être libérée que par sa décomposition. Chez les êtres vivants, l'oxygène joue le rôle principal dans les désagrégations des édifices moléculaires. Celles-ci sont de l'ordre des combustions. Les débris des molécules dont l'énergie a été utilisée ne sont plus aptes à jouer un rôle dans les phénomènes vitaux et ils sont éliminés. En étudiant les excreta, on peut donc arriver à savoir quels sont les éléments qui ont été utilisés et détruits.

Les protoplasmas vivants sont tous des albuminoïdes ; ils contiennent de l'azote qui est éliminé principalement sous forme d'urée. En dosant l'azote éliminé, on peut se rendre compte du sort des protoplasmas.

Au point de vue théorique, la question est compliquée par ce fait que si tous les protoplasmas sont albuminoïdes, tous les albuminoïdes ne sont pas des protoplasmas : il y a des substances albuminoïdes de réserve dont les protoplasmas peuvent utiliser l'énergie. Nous sommes peu renseignés sur ces albuminoïdes de réserve; il est cependant certain que leur rôle est moins important que celui des graisses et des hydrocarbures.

Il est donc possible que l'azote soit éliminé en quantité plus considérable lors du fonctionnement par destruction des albuminoïdes de réserve même si le protoplasma ne se détruit pas. Mais si le protoplasma est réellement détruit par le fonctionnement, comme le pensait Cl. Bernard, il est impossible que, lors du fonctionnement des muscles par exemple, la quantité d'azote éliminée ne soit pas très notablement augmentée.

L'étude expérimentale de cette question présente des difficultés extrêmes. Je n'ai pas à montrer comment les physiologistes qui se sont attachés à ce labeur énorme sont arrivés à réaliser des dispositifs expérimentaux de plus en plus précis. Je me bornerai à indiquer les résultats principaux de leurs recherches.

D'après Liebig, dont la conception était en somme identique à celle de Cl. Bernard, le travail était produit aux dépens des albuminoïdes des muscles. Les premières expériences parurent donner des résultats conformes aux idées de Liebig. Mais les causes d'erreur y étaient nombreuses. On n'avait même pas tenu compte de l'azote ingéré avec les aliments.

A mesure qu'on a mieux éliminé les causes d'erreur, les résultats expérimentaux sont devenus de plus en plus contraires à la doctrine de Cl. Bernard et Liebig. Fisk et Wisclénius arrivent à cette

conclusion que le travail n'augmente pas la quantité d'azote éliminée. Voit, Oppenheim, Wait, Krummacher montrent que l'excrétion azotée n'est pas augmentée par le travail musculaire. Un animal ne puise l'énergie dans l'albumine qu'à défaut d'autre source, c'est-à-dire quand il est en état d'inanition.

Les expériences physiologiques entreprises dans un tout autre but apportent donc une confirmation éclatante à la loi d'assimilation fonctionnelle.

Il en est de même de certains faits pathologiques. Chez les individus qui ont l'œsophage ou le pylore obstrué de telle sorte que l'alimentation est impossible, on voit d'abord le chiffre de l'urée s'abaisser considérablement. Dans cette période, le fonctionnement vital consomme les réserves. Puis, quand toutes les réserves sont épuisées, ce que montre l'extrême émaciation, alors et alors seulement le chiffre de l'urée s'élève considérablement. Le malade qui n'a plus de réserves vit sur ses albuminoïdes, mais la mort est proche.

Dans la loi de Le Dantec, il y a deux idées. La première, dont je me suis seulement occupé dans ce qui précède, se résume en ceci : la substance vivante assimile en fonctionnant. Envisagée sous cet aspect, la loi d'assimilation fonctionnelle explique qu'un organe qui existe déjà se développe sous l'influence de l'usage ou s'atrophie sous l'influence du non-usage.

Elle explique, par exemple, l'atrophie du fémur de la baleine; elle explique l'atrophie du muscle pyramidal de l'abdomen chez les animaux qui n'ont plus d'os marsupial. Inversement elle explique le développement des muscles de l'aile chez les oiseaux; l'allongement des membres chez les animaux coureurs; le volume des reins chez les carni-

vores dont le régime alimentaire produit une grande quantité de toxines qu'ils doivent éliminer.

Il est inutile de multiplier ces exemples. Il suffit de regarder autour de soi pour en trouver d'innombrables.

Au point de vue de l'évolution, l'autre aspect de la loi de Le Dantec est beaucoup plus intéressant. L'assimilation fonctionnelle n'est pas toujours une assimilation rigoureuse.

Dans l'assimilation rigoureuse, la substance assimilée est identique à la substance assimilante. Le résultat ne peut être qu'un accroissement sans modification.

Quand les conditions changent, à des excitations nouvelles, la cellule répond d'une manière nouvelle. Elle assimile, mais sa substance, au lieu de rester identique à elle-même, se modifie. La modification, et ce n'est là, peut-être, qu'une application du théorème de Lechâtelier, est telle qu'elle limite l'effet de la perturbation produite par l'excitation anormale.

Il faut ou que la cellule succombe ou qu'elle s'accommode au changement. Elle s'y accommode par l'assimilation fonctionnelle : et c'est là proprement l'adaptation. C'est ainsi que la fonction crée l'organe.

Qu'on ne dise pas que cette explication est purement verbale. Il y a là autre chose que des mots, autre chose même que des idées. Que cette théorie surprenne ceux qui n'y sont pas habitués, je le comprends : mais c'est sa simplicité même qui étonne. Si l'on veut bien y réfléchir, on voit qu'il n'est pas de doctrine plus exempte d'hypothèse. C'est simplement l'expression de faits bien constatés.

Je reviens à l'exemple de la bactérie charbon-

neuse, dont on s'est si souvent servi, parce qu'il est le plus démonstratif.

Voici une bactérie de virulence atténuée qui ne se développe pas chez le mouton, pas même chez une souris adulte. On l'inocule à une souris jeune : elle y vit, s'y développe par assimilation fonctionnelle. Mais en se développant, elle se modifie, car elle devient capable de vivre chez une souris adulte. Inoculée à un de ces animaux, elle assimile et devient capable de vivre chez un cobaye. En se développant chez le cobaye, elle se modifie encore et devient capable de vivre chez un mouton qu'elle tue.

Comme chez les micro-organismes, le fonctionnement et l'assimilation ne sont qu'un seul et même phénomène, en disant que l'assimilation n'a pas été rigoureuse, on n'ajoute rien aux constatations. On rend seulement explicite le fait que la bactérie est devenue capable de tuer un mouton.

Ces modifications par l'assimilation fonctionnelle ne sont pas propres aux êtres monocellulaires. Elles se produisent de la même façon chez les êtres les plus complexes. Les vaccinations en fournissent des exemples quotidiens. Il suffi d'en citer un. Je prends le cas le plus général et le plus simple, l'introduction d'une substance étrangère dans le milieu intérieur d'un animal. L'introduction directe dans le milieu intérieur ne diminue pas la portée générale du fait, car la plupart des modifications du milieu externe n'agissent qu'après avoir modifié le milieu interne.

On injecte des hématies de cobaye à un lapin. Si on répète l'injection un certain nombre de fois dans certaines conditions, le sérum du lapin acquiert une propriété nouvelle, celle de dissoudre les hématies du cobaye. On dit alors qu'il contient une hémolysine. Cette conclusion n'est pas légitime. On

n'a pas le droit de dire que le sang du lapin contient une substance nouvelle, l'hémolysine. Il s'agit sans doute de modifications physico-chimiques des colloïdes préexistants. Je laisse complètement de côté pour le moment cette question importante. Mais le fait subsiste : le sérum du lapin détruit les globules rouges du cobaye. L'animal a acquis une propriété nouvelle, celle de se défendre contre les globules rouges du cobaye.

Cette propriété n'est pas due à de simples modifications chimiques du sérum. Quand on mélange dans un verre du sérum de lapin et des globules rouges de cobaye, le sérum ne devient pas hémolytique. S'il l'est devenu chez l'animal vivant, c'est par suite du fonctionnement vital, et les seuls éléments réellement vivants d'un organisme sont les cellules. Le fonctionnement de certaines cellules — nous ne savons pas lesquelles — s'est donc modifié de manière à lutter contre l'élément étranger, le globule rouge du cobaye.

Sans que nous puissions bien en analyser le mécanisme intime, mais cependant sous nos yeux, une fonction s'est créée, fonction de défense. Elle a pour organe des cellules. S'il entre une part de métaphore dans l'affirmation que la fonction a créé l'organe, il est tout à fait exact de dire que, sous l'influence d'une modification d'origine externe, la fonction et l'organe se sont simultanément créés et, fait important, l'organe continue à fonctionner sans excitation nouvelle. Alors même qu'on ne fait plus d'injection d'hématies, il continue à produire ce qu'on appelle des hémolysines. C'est un caractère acquis au moins pour un temps.

Ainsi, l'assimilation fonctionnelle est le mécanisme par lequel les êtres vivants s'adaptent aux variations du milieu et acquièrent des caractères

nouveaux lorsque ces variations sont considérables. Elle est la condition même de l'existence des êtres vivants. Si elle n'existait pas, ils n'existeraient pas non plus.

L'adaptation par assimilation fonctionnelle est le grand facteur de l'évolution.

Ce n'est pas à dire que ce soit le seul. Les mutations dues au hasard (j'ai déjà dit dans quel sens ce mot doit être pris) existent incontestablement. Les croisements, l'hybridité ont pu jouer un rôle. Quant à l'isolement, à la ségrégation, ce sont là des conditions tout à fait secondaires dont il peut être intéressant d'étudier les effets, mais qui n'ont rien à faire dans la théorie générale du transformisme. Leur mode d'action d'ailleurs n'est pas spécial.

Le rôle de toutes ces conditions (je ne puis citer toutes celles qui ont été étudiées) est réel, mais tout à fait secondaire. Si elles étaient prépondérantes comme certains le pensent, le transformisme n'aurait aucun intérêt philosophique.

L'adaptation par assimilation fonctionnelle explique que l'évolution se fasse dans un sens déterminé. Cette direction de l'évolution, c'est ce qu'on a appelé l'orthogénèse.

L'exemple du sérum hémolytique nous a montré que certains caractères acquis peuvent persister alors même qu'ils ne sont plus utiles. On comprend que dans certaines circonstances ils puissent devenir nuisibles. Quand ils deviennent nuisibles, les êtres qui les présentent sont condamnés à périr. C'est une question sur laquelle j'aurai à revenir en étudiant la persistance des caractères acquis.

En tout cas, le résultat d'ensemble des modifications, dues à l'assimilation fonctionnelle, ne peut être qu'une adaptation exacte des êtres au milieu. La vie d'ailleurs ne peut exister qu'à cette condition.

CHAPITRE III

Transmission des modifications. — Hérédité.

SOMMAIRE. — Théorie de Darwin : les gemmules, la pangenèse. — Théorie de Nægeli : l'idioplasma. — Théorie de Weismann : le morphoplasma; l'idioplasma; le plasma germinatif. — Idantes, ides, déterminants.
Hérédité des caractères acquis. — Définition des caractères acquis — Corrélation. — Rôle de la fécondation.

Une modification qui ne serait pas héréditairement transmissible n'aurait aucun intérêt philogénique. Le problème de l'hérédité fait donc partie intégrante de la question du transformisme. Toute doctrine de l'évolution doit comprendre une théorie de l'hérédité. C'est là que la fantaisie des naturalistes s'est donné carrière le plus librement. Ils se sont efforcés de concevoir un mécanisme explicatif de ces phénomènes extrêmement complexes. Beaucoup d'entre eux me semblent avoir été moins préoccupés d'étudier les faits que d'édifier un système et ils sont arrivés à des conceptions d'un caractère très nettement métaphysique, auxquelles ils ont donné un baptême matérialiste. Les théories les plus célèbres invoquent des corpuscules matériels, gemmules, particules, micelles, qui représentent des propriétés et les transportent avec eux.

Théorie de Darwin. — Les gemmules de Darwin donnent aux cellules leurs propriétés. Il en existe

des espèces différentes aussi nombreuses que les catégories de cellules. Toutes ces espèces existent dans l'œuf. Elles se multiplient par division, traversent les membranes cellulaires pour aller se répandre dans les cellules filles, et en vertu d'une attraction spéciale, elles arrivent tout juste dans les cellules auxquelles elles sont destinées.

Inversement, chez l'individu développé, les cellules somatiques envoient des gemmules aux cellules sexuelles et le cycle recommence. Telle est la théorie de la Pangénèse.

Il faut avoir l'esprit fait d'une certaine façon pour trouver que cette théorie explique quelque chose. Elle consiste d'abord à donner le nom de gemmules aux propriétés. Les gemmules sont des entités matérialisées. En admettant même que ces gemmules existent réellement, leurs extraordinaires migrations restent tout à fait fantaisistes ; et si les cellules exercent une attraction élective sur celles qui leur sont destinées, elles deviennent parfaitement inutiles. Pour exercer cette attraction, il faut que les cellules soient déjà différenciées de telle sorte qu'elles n'ont plus besoin des particules. En tout cas cette différenciation cellulaire est justement le point qu'il faudrait expliquer et Darwin se borne à l'affirmer.

En somme la théorie de Darwin, tout en introduisant un élément nouveau, la gemmule, qui a d'ailleurs le caractère d'une entité matérialisée, n'explique rien[1].

Théorie de Nægeli.—Nægeli admet que *l'idioplasma* est doué de certaines tendances évolutives qui déter-

1. La théorie de de Vries n'est qu'une variante de celle de Darwin. Les gemmules de Darwin deviennent des pangènes, et la théorie porte le nom de pangénèse. Tandis que les gemmules représentent des cellules, les pangènes représentent des

minent tout le développement phylogénique. Ceci est une théorie, non du transformisme mais de la création. Si l'idioplasma possède dès l'origine des propriétés qui à elles seules assurent le développement ultérieur, il s'agit en somme d'une sorte de création échelonnée.

Aussi n'aurais-je même pas parlé de la théorie de Nægeli s'il n'avait le premier introduit l'idée de deux plasmas.

L'élément dont part Nægeli est le micelle qui paraît d'ailleurs n'avoir aucun rapport avec le micelle chimique. Des micelles de Nægeli les unes s'orientent parallèlement, tandis que les autres ne s'orientent pas. L'ensemble des micelles orientées constitue l'idioplasma. Les micelles non orientées composent le plasma nutritif.

C'est l'idioplasma qui est important ; il forme un extraordinaire réseau de filaments qui traversent toutes les cellules et s'étendent d'un bout du corps à l'autre. Il est tout à fait inutile d'insister sur cette conception où triomphe une fantaisie peu soucieuse de la réalité. Il en est resté la conception des deux plasmas dont Weismann a fait un singulier usage.

Théories de Weismann. — Weismann considère aussi qu'il existe deux variétés de plasma, le morphoplasma qui n'a pas d'intérêt au point de vue de l'évolution et l'idioplasma. Ce dernier est localisé dans le noyau, c'est lui qui détermine les propriétés des cellules; il est la substance héréditaire. Il existe

caractères. Au lieu de migrer d'un bout à l'autre de l'organisme, ils limitent leurs excursions à une cellule. La pangenèse de de Vries est intra-cellulaire. Les pangènes qui restent dans le noyau sont sans action. Ceux qui sortent du noyau et se multiplient dans le cytoplasma deviennent actifs et donnent à la cellule le caractère qu'ils représentent.

aussi bien dans les cellules somatiques que dans les cellules génitales, mais en ces dernières il prend des caractères particuliers et constitue le plasma germinatif.

Le noyau des cellules sexuelles, le plasma germinatif, est sous forme de particules que Weismann appelle des ides. Les ides, chez la plupart des animaux, se groupent en unités plus considérables qui sont les idantes; mais aussi elles se décomposent en unités plus petites qui sont les déterminants ainsi nommés parce que leur rôle est de déterminer certaines régions ou certains tissus. (Il est assez difficile de savoir ce que déterminent les déterminants.)

Les déterminants ne sont pas encore l'unité, ils se décomposent en biophores.

Il faut savoir gré à Weismann de n'avoir pas allongé davantage cette liste. Sa théorie fait penser à l'emboîtement des germes. Les particules sont si commodes pour ceux dont elles satisfont l'esprit et leur invention coûte si peu qu'il y a quelque mérite à se limiter.

Weismann a cherché à rapprocher ce jeu de particules de quelques éléments histologiques connus. Les ides ou selon le cas les idantes correspondent, dit-il, aux chromosonnes. C'est une affirmation qui échappe à toute espèce de discussion. On voit bien quelle préoccupation conduit Weismann à établir le rapprochement. La visibilité confère la réalité. Restent les déterminants et les biophores qui ne sont pas visibles. Mais, pour Weismann, ils ont une réalité bien supérieure à celle des objets visibles : ils sont nécessaires. « Les déterminants[1] doivent nécessairement exister, car il doit y avoir quelque chose dans le plasma qui cause la présence ou l'ab-

1. J'emprunte cette citation au livre de Delage et Goldsmith, page 131.

sence de telle ou telle structure ou caractère. Dans ce sens, on peut dire qu'ils ne sont pas hypothétiques, mais aussi réels que si nous les avions vus de nos propres yeux. »

On voit le vice de ce raisonnement. L'affirmation de la présence dans le plasma de quelque chose qui agit sur la structure est exacte ; personne ne peut y contredire. Mais il n'en découle nullement que ce quelque chose est une particule.

C'est ainsi qu'on raisonnait avant Lavoisier. Pour qu'un corps brûle, il doit nécessairement exister quelque chose qui le fasse brûler. Ce quelque chose est le phlogistique. C'est ainsi que raisonnent encore certains biologistes qui, pour expliquer un phénomène quelconque, imaginent et baptisent une substance qui le produit. Ainsi sont nées les alexines, les lysines, etc... Toutes ces particules sont du même ordre que les archées de Paracelse, que les blas ou vulcains de Van Helmont. Leur origine est semblable et il importe peu au point de vue philosophique et scientifique qu'on les considère comme spirituels ou matériels.

Mais comment agissent ces particules, quelque nom qu'on leur donne ? Comment agissent-elles dans le développement ontogénique ? Il faut d'abord qu'elles arrivent aux cellules sur lesquelles elles doivent agir. Nous avons déjà rencontré cette difficulté pour les gemmules. Parmi tant de points faibles, c'est peut-être le plus faible des théories de ce genre. Weismann déclare que dès les premières divisions de l'œuf, les déterminants se répartissent d'une manière inégale entre les cellules. Mais de quoi dépend cette inégalité de répartition ? Weismann ne le dit pas et c'est là que serait la véritable explication du développement.

Arrivés dans les cellules auxquelles ils sont des-

tinés, les déterminants se dissocient en biophores qui sont les éléments actifs. Comment agissent-ils? Ils sont, d'après Weismann, les facteurs de l'évolution de la cellule, l'autre facteur étant le cytoplasma. En somme ils agissent parce qu'ils ont une vertu agissante. C'est par la même raison, affirme Diafoirus, que l'opium fait dormir; *quia in eo est virtus dormitiva.*

Qu'on ne dise pas que je plaisante. Si Weismann est sérieux, je le suis aussi. Si je plaisante, c'est qu'il plaisante également, car si j'ai modifié la forme, j'ai respecté le fond de sa pensée.

L'explication qu'il donne du développement phylogénique ne me paraît pas plus satisfaisante. Elle a pour base la continuité du plasma germinatif.

Lors des divisions successives de l'œuf, une parcelle du plasma germinatif, sans se diviser, sans se modifier, se transmet à la cellule qui doit former les éléments sexuels. C'est là seulement que le plasma germinatif se divise de telle façon que chaque cellule génitale en contient une portion tandis que les cellules somatiques en sont dépourvues. L'ensemble des cellules sexuelles chargées du plasma germinatif constitue le germen. Seules, ces cellules sexuelles, grâce à la présence du plasma germinatif, sont capables de se développer pour former un nouvel être, et les choses se passent ainsi de génération en génération. C'est toujours le même plasma germinatif qui est en jeu et ainsi les hommes auraient dans leurs cellules génitales du plasma germinatif d'amibe, si les amibes pouvaient avoir un plasma germinatif. Cette théorie du plasma germinatif semble exclure toute possibilité de variations. Ici Weismann fait intervenir la fécondation. Le mélange des plasmas germinatifs différents, par les conflits qui en résultent, est la source des variations.

Mais on ne voit pas du tout à quel moment le plasma germinatif a pu devenir différent de lui-même.

Puisque Weismann n'admet pas d'autre cause de modification que la fécondation, le plasma germinatif aurait dû rester identique chez les mâles et les femelles.

Les théories de ce genre, même si elles expliquaient quelque chose, ne pourraient s'appliquer qu'à une époque tardive où l'évolution phylogénique a déjà accompli ses étapes les plus importantes. Pour que le plasma germinatif puisse entrer en fonctions il faut bien qu'il existe, et il n'existe évidemment pas chez les êtres monocellulaires qui ont cependant une hérédité.

La théorie de Weismann, en admettant même qu'elle ait une valeur explicative, n'explique pas les faits les plus courants, par exemple la reproduction des végétaux par bouture ou marcotte. La bouture, en se développant, va produire des fleurs, tout un appareil sexuel. Où donc était logé le plasma germinatif ?

Pour expliquer ce fait banal de la reproduction par bouture, Weismann a dû fournir une nouvelle hypothèse, celle des déterminants de réserve. Mais ces déterminants de réserve doivent avoir les mêmes caractères que le plasma germinatif, et ils doivent exister dans n'importe quelle cellule, sinon, ils n'expliquent pas la bouture. Alors il n'y a plus de différence entre le plasma somatique et le plasma germinatif. Or, cette différence absolue, cette séparation complète était la raison même de la théorie de Weismann, car c'est par là qu'elle devait établir l'impossibilité de la transmission des caractères acquis et ruiner le lamarckisme.

La doctrine de Weismann était une arme contre

le transformisme adaptatif, mais une arme si mal trempée que son auteur la brise lui-même. Et par la suite, il en a forgé une contre lui en imaginant la sélection germinale, que je vais m'efforcer de résumer aussi brièvement que possible.

Les déterminants se multiplient par division. Les divisions ne se font pas toujours par moitié, elles produisent parfois des déterminants plus faibles. Ceux-ci moins aptes à se nourrir s'affaiblissent encore, et ils vont s'affaiblissant de génération en génération. Comme le font remarquer Delage et Goldsmith l'insuffisance d'aliments peut faire périr les déterminants débiles. Par cette théorie, Weismann introduit l'influence d'une circonstance extérieure, l'alimentation et les modifications qu'elle produit sont héréditaires. C'est reconnaître à la fois que des circonstances extérieures sont capables d'entraîner des modifications et que ces modifications sont héréditaires. C'est là l'idée lamarckienne. C'est ce qui me faisait dire dès le début de ce chapitre que les ennemis les plus acharnés du transformisme adaptatif, le vrai, sont comme écrasés par la toute-puissance de la conception de Lamarck.

Cette rapide revue suffit, j'espère, à montrer l'extraordinaire faiblesse de tous ces systèmes qui, sans pouvoir nier l'évolution, cherchent à supprimer ce qui en fait l'intérêt. Contrairement à toute méthode scientifique, au lieu d'étudier les faits, ils commencent par affirmer les uns et nier les autres, puis s'efforcent de trouver dans des constructions mentales fantaisistes la justification de leurs affirmations ou de leurs négations. Elles sont toutes entachées de cette vieille erreur qui consiste à croire qu'on explique quelque chose en baptisant une propriété ou en lui attribuant un support matériel imaginaire.

Hérédité des caractères acquis. — Au point de vue évolutionniste, tout l'intérêt de l'hérédité réside dans la transmission des caractères acquis. Il serait beaucoup plus exact de dire que c'est la seule question, car si l'on envisage l'évolution depuis l'origine, c'est-à-dire depuis l'apparition de la première substance vivante, il est bien évident que tous les caractères sont acquis. Ce n'est certainement ni le plasma germinatif, ni l'amphimixie, ni, d'une manière générale, les phénomènes sexuels qui ont amené l'évolution progressive des protozoaires; or, les néo-darwiniens n'admettent pas d'autre cause à l'évolution. Comme je l'ai déjà fait remarquer, l'évolution telle qu'ils la comprennent, n'a pu commencer qu'à une époque où les êtres vivants étaient déjà très complexes, c'est-à-dire à un moment où l'évolution véritable avait accompli le meilleur de sa tâche.

« Ou bien il y a eu transmission héréditaire des caractères acquis, ou bien il n'y a pas eu d'évolution du tout », dit Spencer, et c'est la vérité même.

Weismann croit échapper à ce dilemme en donnant une définition restrictive du caractère acquis. Pour lui il faudrait entendre, par cette expression, un caractère qui ne tient ni à l'œuf ni au spermatozoïde. Ainsi, il élimine toutes les modifications que le milieu peut produire sur l'ovule, le spermatozoïde et l'œuf.

Rien ne justifie cette restriction. Il est même assez singulier que pour les besoins de la cause, Weismann se laisse aller à admettre les modifications produites par le milieu sur l'œuf ou le spermatozoïde, car elles ne cadrent guère avec la théorie du plasma germinatif, mais les néo-darwiniens sont prêts à tous les sacrifices qui leur permettent de retarder l'échéance où ils seront forcés d'admettre l'hérédité des caractères acquis.

On voit l'artifice. Toutes les fois que la transmission d'un caractère est prouvée, on déclare que ce caractère est dû à une action du milieu non pas sur le soma mais sur le germen et que, par conséquent, ce n'est pas un caractère réellement acquis.

En voici un exemple. Paul Bert cherche à acclimater des daphnies dans l'eau salée. Lorsque le taux de la salure atteint 1,5 p. 100, les daphnies succombent, tandis que les œufs qu'elles renferment se développent et donnent une nouvelle génération de daphnies qui vivent dans l'eau salée. Il s'est donc produit une adaptation transmissible. Mais Thomson, weismannien, déclare qu'il n'y a pas là de modification acquise parce que le milieu a agi sur l'œuf, c'est-à-dire sur le plasma germinatif et non sur le soma. La modification n'en est pas moins réelle.

On ne voit pas quel intérêt ces subtilités peuvent avoir pour la question générale du transformisme et Montgomery a bien raison de se demander si « entre les modifications produites pendant le développement des cellules germinales et celles survenues plus tard, la différence est si essentielle ».

Si l'on veut bien songer que la théorie du plasma germinatif indépendant n'a point du tout les faits pour origine, qu'elle a été imaginée pour établir l'impossibilité de la transmission des caractères acquis, il apparaît clairement que cette différence est nulle. Le raisonnement weismannien se réduit à ceci. Les modifications du soma ne peuvent pas se transmettre parce que le plasma germinatif est indépendant — et le plasma germinatif est indépendant parce que les modifications somatiques ne peuvent pas se transmettre. — C'est un modèle parfait de paralogisme.

D'ailleurs, une modification quelconque ne se transmet chez les êtres sexués que si elle a retenti

sur les éléments sexuels. La modification des cellules reproductrices est la condition nécessaire et il importe peu qu'elle soit primitive ou secondaire.

En somme, comme le dit Montgomery, il ne s'agit pas de savoir si les caractères acquis sont héréditaires, mais quels sont, parmi les caractères acquis, ceux qui sont héréditaires, car les caractères ne peuvent être que créés ou acquis. S'ils sont prédéterminés dans le plasma germinatif, l'évolution n'est qu'une création qui continue, ce que personne n'admet. Puisqu'ils ne sont pas créés, il faut bien qu'ils soient acquis. Tous les caractères sont donc acquis.

Le Dantec a dit : « Il faut réserver le nom de caractères acquis aux modifications définitives, à celles qui ne disparaissent pas avec la cause qui les a produites ».

Cette définition, bien qu'exacte, n'est pas satisfaisante. L'immunité conférée par une maladie ou une vaccination est bien un caractère acquis, elle n'est cependant pas définitive : elle s'éteint avec le temps.

La définition de Le Dantec fournit cependant un assez bon critérium. Elle conduit à considérer certaines mutilations comme ne constituant pas des caractères acquis. Mais elle n'est pas d'une application facile si j'en juge par l'amusante discussion du cas du manchot. Il s'agit de savoir quelle est la cause qui rend un homme manchot. Pour le commun des mortels, dit Delage, c'est le coup de hache qui a tranché le bras. — Pas du tout, dit Le Dantec, c'est le fait de n'avoir plus de bras.

Evidemment, c'est bien le coup de hache qui a amputé le bras. Mais c'est bien le fait de n'avoir plus de bras qui est la cause de l'état de manchot. Chez une salamandre, le bras aurait repoussé et,

malgré le coup de hache, l'animal ne serait pas manchot.

Le Dantec conclut que la cause de l'état de manchot, c'est-à-dire l'absence du bras, persiste. L'état de manchot ne constitue donc pas un caractère acquis, il ne doit pas être héréditaire et, en effet, il ne l'est pas.

Quels sont les caractères qui sont héréditaires? Il est facile de répondre à cette question d'une manière générale. Les caractères transmissibles sont ceux qui ont entraîné une modification des cellules sexuelles.

Bien loin d'être indépendantes du reste de l'organisme, comme le prétend la théorie du plasma germinatif, les cellules sexuelles sont en étroites relations avec les cellules somatiques. La communauté de vascularisation suffit à le prouver. On ne voit pas comment une modification du sang pourrait rester sans influence sur les cellules sexuelles. Chez les végétaux qui n'ont pas de circulation proprement dite, il existe cependant un milieu intérieur qui établit une étroite corrélation entre toutes les parties.

Mais quelles sont les modifications qui s'accompagnent de changements du milieu intérieur? Toutes celles qui sont définitives, répond Le Dantec, c'est-à-dire celles qui persistent après la suppression de la cause qui les a produites.

Un être vivant constitue un ensemble si étroitement coordonné qu'il n'y a peut-être pas, en effet, de modification persistante qui puisse rester absolument locale. La modification porte sur l'ensemble de l'être.

Mais par quel mécanisme un caractère acquis entraîne-t-il une modification des cellules germinales telles que l'être auquel elles donneront naissance le

présentera? La modification est-elle d'ordre physique, d'ordre chimique, d'ordre colloïdal? Le Dantec a fait sur ce point des hypothèses fort intéressantes, mais nous ne savons pas. Nos connaissances sur les albuminoïdes, sur les colloïdes ne sont pas assez avancées pour qu'on puisse décrire le mécanisme précis de la corrélation dont l'influence des caractères acquis sur les cellules germinales n'est qu'un cas particulier.

Mais nous savons, je l'ai déjà dit (voir page 19), que les chimismes de diverses espèces et même de variétés voisines diffèrent les uns des autres. Si nous ne pouvons faire que des hypothèses sur les détails du mécanisme, les différences des chimismes permettent d'en affirmer la réalité.

Pour qu'un caractère acquis qui a retenti sur les cellules germinales, c'est-à-dire qui est transmissible, soit sûrement transmis chez les animaux où une fécondation est nécessaire, il faut qu'il soit commun au mâle ou à la femelle. Lamarck avait bien pris soin de le dire.

Dans les grandes transformations adaptatives, celles dont on parle le moins, les seules qui aient un véritable intérêt, cette condition est toujours réalisée. La variation se produit simultanément chez un très grand nombre d'individus.

Pour les petites variations, l'influence de la fécondation est infiniment variable. Dans son ensemble, elle est plutôt régulatrice que modificatrice. En général, les modifications unisexuelles disparaissent. Il y a des exceptions : Fogliata cite le cas d'une ânesse qui avait sur le dos une bosse lipomateuse développée sous l'influence de la pression du bât. Fécondée par un âne ordinaire, elle mit au monde un ânon qui avait une bosse semblable.

Cette hérédité est d'un caractère exceptionnel.

La bosse de l'ânesse est tout à fait comparable aux lipomes des portefaix, qui ne sont pas rares. Je ne crois pas qu'on en ait observé un seul cas héréditaire, et il n'y a pas lieu d'en être surpris. Le tissu adipeux est très répandu dans l'organisme et le fait qu'il se développe surabondamment en un point ne peut guère retentir sur les cellules sexuelles.

D'ailleurs, dans le cas de l'ânesse, il est singulièrement probable que la bosse a ultérieurement disparu dans sa descendance.

La série des générations sexuelles, qui fixe les transformations adaptatives bilatérales, tend à faire disparaître les variations unilatérales. C'est là ce que Galton a formulé sous forme de loi.

Mendel a étudié un cas particulier de la fécondation. Il a fait des croisements entre des variétés de pois, et il en a observé les résultats. Mais il a fait porter son observation sur des caractères — forme et couleur de la graine ou des gousses, taille de la plante — qui ont sans doute un intérêt pour les horticulteurs, mais qui n'en ont guère pour la grande question du transformisme. De ses observations, il a tiré un certain nombre de règles, qu'on appelle les lois de Mendel. Je ne crois pas qu'il soit utile de les exposer ici. Si elles s'appliquent toujours, elles peuvent rendre service à un jardinier qui se propose d'obtenir une race plus productrice, mais elles n'ont pas d'intérêt philosophique.

Comme l'a dit Le Dantec « la loi de Mendel ne nous fait faire aucun pas dans la connaissance du mécanisme de l'hérédité ».

CHAPITRE IV

Persistance des modifications.

SOMMAIRE. — Adaptation et sélection. — Rôle restreint mais réel de la sélection. — La sélection artificielle. — La sélection sexuelle. — Rôle des maladies. — Les survivants sont adaptés.

La doctrine lamarckienne n'a pas besoin d'expliquer la persistance des modifications. D'une part, les causes qui les ont produites persistent assez longtemps pour les fixer; d'autre part, étant adaptatives, elles sont non seulement utiles, mais en quelque sorte nécessaires, et les influences du milieu tant qu'elles ne changent pas ne peuvent que les accentuer.

Si la question de la persistance des caractères acquis ne se pose pas pour le lamarckisme, elle a une extrême importance pour le darwinisme. Les variations étant quelconques, il faut expliquer que les êtres sont adaptés.

Sélection naturelle. — Darwin l'a expliqué par la sélection naturelle. Cette doctrine a pour base ce qu'on pourrait appeler l'encombrement vital. D'après la loi de Malthus, tous les êtres naissent en trop grand nombre. La plupart sont condamnés à périr jeunes. Entre eux s'établit une lutte : la lutte

pour la vie, où succombent les faibles et triomphent les forts. La sélection est un crible qui ne laisse passer que les plus aptes : elle a pour résultat, suivant l'expression de Spencer, la persistance du plus apte.

Je ferai remarquer que l'encombrement vital à l'origine de la vie ne devait pas être considérable. Comme la plupart des théories, la sélection naturelle ne s'applique qu'à une époque déjà avancée de l'évolution phylogénique. Seul le lamarckisme permet de comprendre l'évolution depuis l'origine même de la vie jusqu'au moment où elle s'éteindra.

Cette réserve nécessaire ne conduit pas du tout à nier le rôle de la sélection naturelle. Depuis bien longtemps, les naissances sont trop nombreuses. Si tous les œufs de harengs avaient produit des harengs adultes, les océans ne suffiraient pas à les contenir. La mer est remplie d'une telle quantité de petits êtres que la baleine s'alimente en ouvrant simplement la bouche. Les hirondelles n'ont qu'à voler le bec ouvert pour se nourrir. Par les soirs d'été, l'atmosphère vibre du frémissement ailé des insectes et semble vivante.

La lutte est partout. C'est seulement dans les sociétés organisées que des oisifs peuvent « se laisser vivre ». Partout ailleurs, il faut conquérir sa place et lutter pour l'existence.

Le rôle de la sélection naturelle est incontestable, mais restreint.

Il est de toute évidence qu'elle ne peut expliquer l'apparition d'un caractère quelconque, encore moins celle d'un organe compliqué. Aussi je ne m'explique pas comment on a pu lui reprocher de ne pas le faire. Ce reproche lui a pourtant été adressé. Ainsi, on lui a objecté qu'elle n'expliquait pas le développement de l'œil et ce qui est plus

extraordinaire, Darwin s'est cru obligé de répondre à des objections de ce genre.

La formation des organes, l'apparition des caractères nouveaux est la grande question du transformisme, mais la sélection n'a rien à y voir. Celle-ci ne peut expliquer qu'une chose, la persistance des modifications acquises et héréditairement transmissibles. C'est à cela que se réduit son rôle.

Il faut remarquer encore que la sélection naturelle ne peut pas amener la disparition d'organes devenus simplement inutiles. Elle peut faire périr ceux chez qui persiste un caractère devenu nuisible, et le caractère se trouve ainsi disparaître. Mais c'est le porteur qui a été éliminé, c'est par lui que la sélection a agi. Elle n'agit jamais que sur l'individu pour le détruire ou le conserver.

Quand un caractère a simplement perdu son utilité, qu'il n'est pas devenu nuisible, il ne constitue pas une infériorité pour son porteur et la sélection naturelle n'a de ce fait aucune prise particulière sur lui.

La sélection naturelle n'agit jamais et ne peut jamais agir sur un caractère, ce mot étant pris dans le sens le plus général. Elle agit sur celui qui le porte.

Ceux qui ne sont point au courant des discussions des naturalistes s'étonneront sans doute que j'insiste sur une notion aussi simple. Si je le fais, c'est qu'elle a été souvent méconnue. Un grand nombre de ces discussions donnent l'impression que les questions sont mal posées et qu'on parle, sans s'en douter, de plusieurs choses à la fois.

Ainsi, un agriculteur californien, Luther Burbank, a constaté « qu'un sol riche et des conditions générales favorables déterminent l'apparition de variations nouvelles, tandis que la pénurie d'aliments,

ou leur surabondance excessive, conduisent à la régression ». Dans cette constatation, on a cru trouver un argument contre la sélection. « Les nouvelles variations apparaissent non pas là où la lutte pour l'existence est la plus vive, c'est-à-dire dans les conditions les plus défavorables, comme le supposait Darwin, mais au contraire là où cette lutte est la plus atténuée. » Les conditions dans lesquelles paraissent les variations ne prouvent rien ni pour ni contre la sélection, car encore une fois la sélection est une théorie, non de la production des variations, mais de leur conservation. Aussi est-il inutile de rappeler toutes les objections de ce type.

Je passerai rapidement sur les conditions dans lesquelles la sélection agit. On a beaucoup discuté sur ce point, mais le plus souvent avec des arguments si peu scientifiques qu'il n'y a pas lieu d'insister.

Darwin a certainement eu tort de considérer la loi de Malthus comme la base de la sélection naturelle. L'encombrement vital est un des éléments de la sélection, mais il y en a bien d'autres. Mettez un couple d'oiseaux de paradis dans une steppe sibérienne ou dans les grandes dunes du désert, ils n'auront à lutter contre aucun être vivant, ils n'en périront pas moins.

Le froid, la chaleur, la sécheresse, l'humidité sont des principes de sélection. Ils agissent et par leur action directe sur les animaux et en modifiant les conditions d'alimentation. Kropotkine a fait remarquer qu'en Transbaïkalie, après les périodes très difficiles, les grands herbivores sont très affaiblis, et il en conclut que la concurrence, entre eux, ne peut amener une évolution progressive de l'espèce.

Les auteurs qui étudient un groupe d'animaux ont

tendance à raisonner comme si la sélection avait été faite pour ce groupe.

Le phénomène observé par Kropotkine, on l'observe sur les confins du Sahara algérien toutes les années de sécheresse. Les chameaux, les ânes, les chevaux, les moutons sont dans un état de misère physiologique effrayant.

Si les intempéries font disparaître une race, une espèce, le principe de la sélection n'en est nullement atteint, d'autant que la disparition d'une espèce peut profiter à d'autres.

Et puis, dans le cas de Kropotkine, beaucoup d'animaux succombent. Ceux qui survivent sont très affaiblis, c'est entendu; ils sont cependant sélectionnés. Ils ont des qualités qui leur ont permis de résister là où les autres ont succombé. Ils vont donner naissance à une race qui sera plus apte à lutter lorsque les mêmes circonstances se reproduiront. Pour déclarer qu'il n'y a pas là une évolution progressive de l'espèce, il faut se placer au point de vue anthropométrique qui est absolument faux. La race sera peut-être diminuée de taille, elle sera moins belle, moins utilisable pour l'homme, mais la sélection n'a point pour rôle de rendre les animaux plus utiles à l'homme. Ces animaux réduits, déformés, sont plus capables de vivre dans les conditions où ils se trouvent, et c'est là un progrès pour eux.

L'expression de Spencer, persistance du plus apte, est fâcheuse, car on a tendance à interpréter le mot « apte » dans un sens humain. Les conditions sont si complexes qu'il est presque impossible d'apprécier les caractères qui rendent un animal plus apte, et quand on cherche à les apprécier, on ne tient jamais assez compte du milieu. Le sens du mot apte est tout à fait relatif.

On a fait remarquer bien des fois que si on enfermait des carnivores, lions, tigres, loups, dans un gras pâturage, ils y périraient, tandis que des moutons y prospéreraient. Mais si on lâche un tigre au milieu d'un troupeau de moutons, celui-ci sera rapidement décimé. Lequel est le plus apte, du tigre ou du mouton ? La question n'a aucun sens.

Ce n'est point « apte » qu'il faut dire, c'est *adapté au milieu*. Il suffit de cette modification d'expression pour rendre évidente une vérité sur laquelle on a beaucoup discuté, c'est que la sélection artificielle n'a rien de commun avec la sélection naturelle. Elle lui est même directement contraire, car elle consiste justement à entretenir artificiellement des races qui disparaîtraient si on cessait de les entourer de soins, c'est-à-dire si on les abandonnait à la sélection naturelle.

Les caractères, que les hommes ont intérêt à entretenir, ne présentent pour les animaux aucun avantage, et souvent même ils n'auraient que des inconvénients pour eux s'ils étaient à l'état sauvage. Darwin a fait remarquer lui-même que la race des bœufs niata, qui a fourni une matière un peu mince à tant de discussions, aurait disparu sans les soins de l'homme. Les plantes chimères sont le comble de la sélection artificielle. Les jardiniers entretiennent un pélargonium à feuilles exclusivement blanches, qui est absolument incapable de vivre. Ils l'entretiennent en le greffant sur d'autres pélargoniums, où il vit en parasite.

La sélection artificielle est fort intéressante : elle nous rend de grands services, mais c'est une grossière erreur de la considérer comme une forme expérimentale de la sélection naturelle. Elle montre que la sélection est possible, mais les moyens

qu'elle emploie pour la réaliser ont justement pour résultat d'empêcher la sélection naturelle.

On n'a jamais vu un potager continuer à produire après la disparition du jardinier. La sélection naturelle intervient tout de suite et supprime l'artificielle.

La sélection artificielle est un artifice, mais non une expérience. Les résultats qu'elle donne ne peuvent être généralisés. C'est une grave erreur de méthode de vouloir les appliquer à la sélection naturelle, puisque les conditions sont changées. Je ne sais pas si les espèces élémentaires d'œnothère entretenues par de Vries persisteront indéfiniment, même avec tous les soins dont il les entoure. Rien ne le prouve, et cela n'a d'ailleurs aucune importance au point de vue de la sélection. Il est probable qu'abandonnées à elles-mêmes elles ne tarderaient pas à disparaître sans jouer le moindre rôle dans l'évolution de la plante.

Les principes de la sélection, j'entends par là les causes qui assurent la survivance d'une espèce, sont extrêmement nombreux. On en a cependant ajouté de singulièrement hypothétiques. La coloration des ailes des papillons, caractère ornemental dont l'intérêt est bien secondaire, a particulièrement excité la sagacité des naturalistes. On a remarqué que les taches de certains papillons dessinent grossièrement, lorsque les ailes sont dressées, une figure de diablotin effrayante. On en a conclu que cet aspect terrible avait assuré la persistance de l'espèce. Les oiseaux qui se nourrissent de papillons s'arrêtent terrifiés au moment de les saisir. C'est l'explication anthropocentriste dans toute sa pureté. Je ne sais pas du tout l'effet que peut produire une tête de diablotin sur l'imagination d'un oiseau. On dit que les moineaux essayaient de picorer les raisins peints

par Apelle. Il est fâcheux que ce grand peintre n'ait pas eu l'idée de représenter un diablotin à côté d'une grappe. Ç'aurait été le seul moyen de savoir à quel point ce spectacle impressionne les oiseaux. Darwin, pour expliquer les caractères morphologiques qui dans les êtres les plus variés différencient les deux sexes, a fait intervenir un nouveau principe de sélection qu'il a appelé la *sélection sexuelle*. Ce sont d'ordinaire les mâles qui sont le plus brillamment ornés. Ils se disputent les femelles. Les plus beaux font la conquête des plus belles; les moins beaux n'ont que celles qui ont été dédaignées. Les accouplements des plus beaux avec les plus belles donnent des produits plus forts que les accouplements des disgraciés. Et ainsi la persistance des caractères purement ornementaux est assurée.

Dans beaucoup de cas, les caractères des mâles ne sont pas simplement ornementaux; ce sont des armes — l'ergot des coqs, les bois des cerfs — qui leur permettent de triompher de leurs rivaux. Quant aux caractères de pure ornementation, pour qu'ils puissent agir à la manière conçue par Darwin, il faut que les animaux aient un sentiment esthétique très développé. L'ont-ils? Il ne semble pas exister chez les papillons. Mayer et Sorel se sont amusés à colorer artificiellement les ailes d'un papillon mâle et ont constaté que ce déguisement ne modifiait en rien l'attitude des femelles. Quelle est à ce sujet la mentalité des oiseaux, des mammifères? Nous ne savons pas. Nous ne les voyons pas s'orner artificiellement. Aucun geai ne s'est jamais paré de plumes de paon. Mais j'ai entendu dire par un éleveur que son étalon bai-brun refusait les juments blanches. Chez les poissons, l'esthétique n'a rien à voir, puisqu'il n'y a pas d'accouplement.

On peut expliquer autrement la persistance des

caractères sexuels secondaires des mâles. Ce sont, nous le savons aujourd'hui, des phénomènes de corrélation qui sont sous la dépendance des cellules interstitielles du testicule. Ils sont d'autant plus développés que le testicule l'est lui-même davantage. Les mâles les plus brillants auraient une progéniture plus nombreuse, à qui ils transmettraient leur éclat. Je n'insiste pas sur cette question, car les caractères sexuels secondaires me paraissent n'avoir qu'un intérêt bien médiocre au point de vue du transformisme. D'ailleurs, la théorie de la sélection sexuelle peut disparaître sans que la théorie de la sélection soit atteinte.

Bien des personnes semblent se représenter la lutte pour la vie comme un corps à corps analogue à un combat de boxe. Elle existe sous cette forme entre animaux de même espèce — quand l'auge est vide, les ânes se battent — et entre animaux d'espèce différente. Il n'est pas besoin de faire des voyages lointains pour trouver des exemples de lutte entre espèces. Tous les chasseurs savent que si les lapins se multiplient dans un bois, ils en chassent les lièvres. On prétend même qu'ils les castrent avec leurs dents.

Dès qu'un instinct de sociabilité s'est développé chez certains animaux et qu'ils vivent en familles ou en bandes, ils sont capables de s'entr'aider. J'ai vu souvent les sternes, qui voyagent en bandes, venir au secours d'un des leurs blessé. J'ai vu des corbeaux enlever un de leurs congénères, à qui j'avais cassé l'aile d'un coup de feu, et le soutenir jusqu'à une branche où il put se percher.

Ces bandes d'animaux savent très bien s'associer contre un ennemi commun. La lutte au sein de l'espèce est supprimée par l'association, et cela n'empêche pas la sélection naturelle d'agir, car la

lutte contre le milieu, contre la maladie a bien plus d'importance que la lutte entre individus. C'est seulement dans l'espèce humaine que les progrès de la science, l'hygiène, la médecine ont profondément troublé la sélection naturelle.

Les conditions qui interviennent dans la sélection sont extraordinairement complexes et elles ont les répercussions les plus lointaines et les plus inattendues. Darwin en a fourni un exemple amusant et célèbre. Il démontre que le nombre des bœufs dans un pays dépend de celui des vieilles filles. Voici comment. Les bœufs se nourrissent volontiers de trèfle rouge. Cette plante ne peut être fécondée que par les insectes et ce sont surtout les bourdons qui la visitent. Si les bourdons disparaissaient, le trèfle rouge deviendrait très rare. Or, les mulots détruisent les nids de bourdons. Mais les chats mangent les mulots et les vieilles filles se plaisent à élever des chats.

C'est une fantaisie très démonstrative. Elle nous enseigne qu'il faut être très prudent dans l'analyse des conditions de la sélection. On s'est demandé par exemple si pour les herbivores dont les grands fauves font leur proie, il vaut mieux avoir de bons membres permettant une course rapide, ou de bons yeux permettant de voir l'ennemi à distance, ou de bonnes oreilles permettant de l'entendre, ou un odorat très fin permettant de le sentir. Tout dépend des circonstances. Si le fauve chasse à courre, la vitesse et la résistance sont très précieuses pour lui échapper. La vitesse ne sert à rien si le fauve, très rusé, surprend les herbivores et les terrasse d'un bond. Dans ce cas, des yeux perçants sont préférables si le fauve chasse de jour et si le terrain est découvert. S'il chasse de nuit, si des rochers ou des broussailles lui permettent de se dissimuler, une

bonne oreille vaut mieux pour se défendre contre lui. S'il est assez habile pour se glisser sans bruit, c'est un odorat très fin qui rendra le plus de services au malheureux herbivore.

Je m'étonne que dans les travaux sur la sélection il ne soit jamais question des maladies. Elles ont dû jouer un grand rôle. Les maladies microbiennes, contagieuses, inoculables par des insectes, transportables par des animaux, comme l'est la peste par les rats, ont dû avoir une grande influence. Le phylloxéra aurait fait disparaître la vigne de France sans les soins de l'homme. La mouche tsé-tsé a supprimé le bétail dans une partie de l'Afrique. Les écrevisses ont complètement disparu dans beaucoup de rivières à la suite d'une épidémie récente. Une chenille a détruit les sapins sur des milliers d'hectares en Champagne.

La paléontologie montre que certaines espèces ont brusquement disparu. Leur disparition peut certainement s'expliquer par des modifications du milieu, mais aussi par des épidémies.

Sans détruire une espèce, une maladie est capable de la modifier. Il me paraît très probable que beaucoup d'espèces animales, dont les hommes, sont héréditairement vaccinés contre un grand nombre de maladies. Ils ont une immunité partielle ou totale due à ce que leurs ancêtres ont résisté à une atteinte.

L'épidémie de rougeole des îles Feroé est célèbre. Apportée par un bateau dans ces îles, où elle était inconnue, la rougeole, d'ordinaire bénigne sur le continent, s'est révélée comme une maladie terrible, extrêmement meurtrière. La mortalité fu énorme. Les insulaires qui avaient résisté à la contamination, ceux qui avaient guéri, ont transmis à leurs descendants leur immunité naturelle ou

acquise, et la rougeole a pris chez eux la même allure que chez nous.

On dit que la syphilis était beaucoup plus grave au XVIe siècle que de nos jours. Si ce fait est vrai, ne faut-il pas voir dans son atténuation le résultat d'une vaccination héréditaire? En tout cas, l'immunité acquise contre les maladies est certainement un principe de sélection.

Quelques ennemis de la sélection ont soutenu que le hasard — ce mot étant pris dans son sens habituel — joue un plus grand rôle qu'elle. Quand une grosse baleine ouvre la bouche, fait remarquer Kellogg, qu'est-ce qui décide du sort des myriades de copépodes flottant dans l'eau? Ce n'est ni leur couleur, ni leur vigueur, ni tel ou tel caractère structural. C'est tout simplement leur situation par rapport à la baleine, c'est-à-dire le hasard. Quand nous nous promenons dans un pré, au printemps, nous écrasons des milliers d'animaux. C'est encore le hasard qui décide de leur sort. Que le rôle du hasard soit très grand, personne ne peut en douter. Mais qu'il joue un rôle dans l'évolution, c'est une autre affaire. Ce rôle ne peut être que très restreint, car, par définition même, le hasard ainsi compris est égal pour tous.

Analyser en détail les conditions qui assurent la survie d'une race ou d'une espèce est un travail presque impossible. La cascade d'effets qui conduit de la vieille fille au bœuf, en passant par le chat, le mulot, le bourdon et le trèfle, est un exemple de répercussion à distance. Il en est de plus lointaines.

En biologie appliquée, la complexité des phénomènes est formidable et il n'en est aucun dont on ait le droit de faire abstraction. L'expression « toutes choses égales d'ailleurs » n'est pas de mise. Il faut

donc s'attendre à ce que l'on discute indéfiniment sur des points particuliers.

S'il est impossible de préciser dans quel cas et dans quelle mesure intervient la sélection naturelle, il est cependant certain que là où elle agit elle ne peut avoir qu'un résultat, assurer la survivance de l'être le mieux adapté à l'ensemble des conditions du milieu. Au fond, il n'y a là qu'un truisme. Ceux qui survivent sont évidemment les plus aptes à survivre, et c'est l'ensemble de ces faits de survivance que l'on appelle la sélection naturelle.

Si la sélection naturelle n'explique pas grand'-chose, du moins elle ne fait appel à aucune entité. Bien des naturalistes ont l'esprit si fortement imprégné de métaphysique qu'ils l'ont considérée comme une sorte de principe supérieur, une espèce de volonté réglant l'évolution. Elle ne comporte rien de tel.

En tout cas, elle conduit à la même conclusion que le transformisme lamarckien. Les êtres qui ne s'adaptent pas sont sacrifiés. Ceux qui survivent sont adaptés.

CHAPITRE V

Du plastide primitif au cerveau de l'homme.

Sommaire. — Origine de la vie. — La substance vivante n'a pas de spontanéité. — Végétaux et animaux. — Apparition des différenciations cellulaires.

L'adaptation permet de comprendre d'une manière grossière mais nullement fantaisiste la formation du cerveau de l'homme.

Nous ne savons pas comment s'est formée la première substance vivante. Les conditions qui l'ont engendrée n'existent plus sur notre planète. Comme il n'y a pas actuellement de génération spontanée, il est à craindre que les hommes soient toujours réduits à des hypothèses sur l'origine de la vie. Car même si les chimistes arrivaient à produire une substance albuminoïde capable d'assimiler, on pourrait encore se demander si leur synthèse artificielle est la reproduction de la synthèse naturelle.

La terre a-t-elle été ensemencée par des germes provenant d'un autre astre d'où la pression de radiation les aurait chassés au travers des espaces interplanètaires? Cette hypothèse des cosmozoaires ne semble pas avoir grand intérêt. Elle est peu vraisemblable car les rayons ultra-violets qui sont arrêtés par l'atmosphère-terrestre, mais qui vibrent dans les espaces intersidéraux, sont capables de tuer la matière vivante. Et si elle était exacte, il resterait à

expliquer comment ces germes se sont formés là où ils auraient pris naissance.

A. Gautier pense que la matière organique azotée a commencé à se produire sur notre terre « en partant des dérivés du cyanogène émané des volcans géologiques ». Le grand intérêt des hypothèses de ce genre, c'est qu'elles pourraient orienter les tentatives de synthèses. Mais si l'on a réalisé la synthèse de la plupart des substances qui sont produites par les êtres vivants, celle de la matière vivante n'est pas même ébauchée.

Nous ne savons pas non plus si la matière vivante a débuté en plusieurs points du globe ou si elle a eu plusieurs centres de formation. Depuis bien des siècles le phénomène vital continue mais ne commence plus. Comme la matière vivante conquiert incessamment le milieu par l'assimilation, il n'est pas impossible que d'un seul centre, elle se soit étendue à toute la terre.

Cette supposition est cependant bien invraisemblable.

La génération spontanée ne se produisant plus, nous sommes tentés de la considérer comme un phénomène tout à fait exceptionnel, une sorte de miracle qui ne s'est produit qu'une fois. Mais il est bien probable qu'à l'époque où elle se produisait, les conditions qui lui ont permis de se réaliser n'étaient point rares. Peut-être même étaient-elles très banales, de telle sorte que la matière vivante se serait développée simultanément ou successivement en des points innombrables.

S'il en était ainsi, la ressemblance actuelle des premières phases du développement embryologique de tous les métazoaires prouverait que la constitution même de la substance vivante limite assez étroitement sa possibilité d'évolution.

La substance vivante n'a pas de spontanéité. « La loi d'inertie, dit Dastre, que l'on croit le partage des corps bruts, ne leur est pas spéciale : elle s'applique aux corps vivants dont l'apparente spontanéité n'est qu'une illusion démentie par toute la physiologie. »

Ce n'est là qu'une application du principe de causalité. En effet, dire que la matière vivante n'a pas de spontanéité, c'est simplement dire que tous les phénomènes qui se passent en elle ont une cause. Il est extraordinaire qu'on ait besoin de l'affirmer.

On a coutume de dire que la substance vivante est irritable. Je crains que ce mot ne dissimule souvent des idées qui sont plutôt métaphysiques que scientifiques.

Les diverses causes qui agissent sur la substance vivante agissent aussi sur les corps bruts, et elles y provoquent parfois des réactions bien plus violentes. Un rayon de lumière, un choc fait détoner une substance explosive. On ne dit pas cependant qu'elle est irritable. Un champ magnétique qui n'a aucune action appréciable sur un animal produit un courant électrique dans un circuit métallique. On ne dit pas que le métal est irritable. On a donc bien l'intention, en disant que la matière vivante est irritable, d'affirmer qu'elle a un caractère que n'a pas la matière brute, et l'on n'est pas bien loin de lui attribuer la spontanéité.

Ceux qui aiment le mot irritable se plaisent à remarquer que les réactions de la substance vivante sont souvent hors de proportion avec la cause qui les produit. Une allumette peut faire flamber toute une maison. Un petit choc fait détoner une substance explosive qui pulvérise un bloc de rochers. Ces effets sont aussi hors de proportion avec la cause qui les produit.

Les réactions de la matière vivantes sont bien d'un genre particulier. Mais ce qu'elles ont de particulier tient à l'état physico-chimique des albuminoïdes. Quand on met les corps bruts sous l'état colloïdal, ils acquièrent des propriétés du même ordre (Voir page 315).

La matière vivante réagit en fonctionnant, et en fonctionnant, elle assimile. L'assimilation est son caractère propre et la loi d'assimilation fonctionnelle permet de comprendre comment du plastide primitif l'évolution a pu conduire au cerveau de l'homme. C'est là le grand problème. C'est par son cerveau que l'homme est arrivé à découvrir les lois de la nature de telle sorte que l'assimilation fonctionnelle doit fournir le critérium qui permet de juger de la valeur de la Science.

Les premiers plastides ont réagi en assimilant. L'expérience montre qu'ils ne peuvent dépasser une certaine dimension. Quand ils arrivent à la taille maximum, ils se divisent. Si les produits de cette division restent indépendants, les limites du progrès évolutif sont proches.

Mais il est arrivé que les cellules filles sont restées unies et ont formé un ensemble coordonné. Nous ne pouvons faire que des suppositions bien vagues sur la manière dont cette grande étape a été franchie, étape nécessaire à tous les perfectionnements ultérieurs.

Les premiers êtres vivants ne pouvaient être que des végétaux. La caractéristique des végétaux c'est d'assimiler des corps bruts. Ils fabriquent leur protoplasma avec des substances minérales.

Les animaux, au contraire, ne savent assimiler que les composés qui ont été déjà modifiés par des phénomènes vitaux. Les animaux n'ont pu exister avant les végétaux puisqu'ils ont besoin de ces derniers pour se nourrir.

Les premiers animaux étaient forcément végétariens et peut-être ont-ils apparu comme des sortes de parasites des végétaux.

Chez les animaux multicellulaires devait forcément se produire une différenciation entre les cellules. Leur situation topographique suffisait à les mettre dans des conditions différentes. Par là même, elles devaient assimiler différemment et se différencier de plus en plus.

Il serait puéril de vouloir suivre pas à pas ces différenciations progressives. Les éléments nous manquent pour cette analyse. Mais les phénomènes observés chez les cœlentérés par les frères Hertwig permettent de comprendre le mode de formation des éléments musculaires et nerveux.

Dans certaines espèces, les cellules périphériques poussent un prolongement interne, qui est plus contractile que le corps de la cellule. C'est une sorte de rudiment musculaire.

Chez d'autres espèces, le noyau se divise en deux : l'un reste dans la cellule, l'autre occupe le prolongement. L'apparence est celle de deux cellules unies par un filament. Puis on observe une différenciation plus complète. Trois éléments nucléés sont reliés par deux filaments. La cellule périphérique est rattachée par un filament plus ou moins mince à un corps protoplasmique nucléé qui lui-même est relié par un second filament à un autre corps protoplasmique qui rappelle le rudiment musculaire dont je viens de parler.

Une modification extérieure agissant sur l'élément périphérique amène une contraction du rudiment musculaire. L'élément moyen ne présente aucune modification apparente, mais il est bien évident qu'il a transmis l'excitation externe de l'un à l'autre. Cet ensemble constitue un cycle réflexe

élémentaire, dans lequel le corps protoplasmique intermédiaire joue le rôle d'élément nerveux.

Une différenciation qui a commencé tend à s'accentuer. Un élément, par là même qu'il est différencié, assimile d'une façon particulière. Et comme cette assimilation est fonctionnelle, c'est-à-dire qu'elle se modifie suivant la cause qui la produit, l'adaptation ne peut que devenir plus précise.

Par ce mécanisme, l'élément nerveux dont nous avons vu la genèse se perfectionne.

CHAPITRE VI

Habitude et mémoire.

Sommaire. — L'habitude est le résultat de l'assimilation fonctionnelle. — Phénomènes de résonance. — Vibrations et colloïdes. — L'habitude est une adaptation. — L'habitude et la mémoire. — Accord de la sensation et de l'excitation.

Qualités de la mémoire. — Ordre de disparition des souvenirs. — L'amorçage.

L'assimilation fonctionnelle a une autre conséquence. Par là même qu'une cellule a fonctionné d'une certaine façon, elle devient plus apte à fonctionner de même. Un enfant qui a fait une gamme une première fois, la fait plus facilement une seconde. Par la répétition des actes complexes qu'elle comporte, il arrive à les exécuter de plus en plus aisément et même à les accomplir inconsciemment. C'est l'habitude qui lui donne cette possibilité. Le rôle de l'habitude est immense. La facilité plus ou moins grande de contracter des habitudes nouvelles rend les êtres plus ou moins éducables. Le problème de l'éducation consiste à donner des habitudes et de bonnes.

On a coutume de dire que l'habitude est une seconde nature. Ce n'est pas assez. L'habitude est la nature même.

Les corps inertes présentent beaucoup de phénomènes qui ressemblent à ceux de l'habitude. Une

feuille de papier qui a été maintenue roulée se recourbe quand on cherche à la remettre à plat. Une barre de fer en porte-à-faux fléchit et au bout d'un certain temps garde sa courbure. Il s'est produit des modifications dans les molécules ou dans le rapport des molécules entre elles et ces modifications persistent.

L'exemple des instruments de musique est plus intéressant. L'usage les rend plus sonores. En vibrant, ils acquièrent la propriété de vibrer davantage. « Les vibrations, dit Auguste Comte, doivent déterminer habituellement dans les constitutions moléculaires des corps certaines modifications physiques d'une autre nature, dont la réaction peut affecter ensuite le phénomène sonore primitif. »

Le Dantec attribue aux phénomènes de résonance un rôle capital en biologie. Il pense que certaines vibrations sont capables de modifier les colloïdes, et que ces modifications de l'état physico-chimique entraînent des modifications chimiques.

J'ai cherché, avec le concours de M. Lancien, à étudier l'action de la lumière sur le rythme des colloïdes. On sait que les rayons ultra-violets coagulent certains d'entre eux. Il nous a semblé d'autre part que la lumière jaune augmente l'amplitude des mouvements de quelques colloïdes métalliques. Ces recherches fort incomplètes apportent cependant un commencement de preuves à la conception de Le Dantec.

Les phénomènes qui se passent dans les corps bruts et dont je viens de rappeler quelques exemples sont-ils des habitudes? Auguste Comte a écrit : « La faculté de contracter de véritables habitudes, c'est-à-dire des dispositions fixes, d'après une suite suffisamment prolongée d'impressions uniformes, faculté qui semblait exclusivement appar-

tenir aux êtres animés, n'est-elle pas aussi clairement indiquée, à un degré plus ou moins grand, pour les appareils inorganiques eux-mêmes? »

On ne voit pas, en effet, quel autre nom on pourrait donner à ces phénomènes d'adaptation permanente. Ils ont pour raison, dans les corps bruts comme chez les êtres organisés, des modifications structurales des éléments de la matière. Certaines habitudes des êtres vivants sont peut-être identiques à ce qu'on observe dans les corps bruts. Ce sont des habitudes que l'on pourrait appeler passives. Ainsi, il suffit de maintenir la jambe fléchie sur la cuisse pendant quelques jours pour qu'il devienne difficile de l'étendre. Les modifications qui tendent à maintenir dans ce cas la jambe en flexion portent peut-être en grande partie sur les éléments non vivants.

Mais les habitudes actives des êtres vivants ont quelque chose de particulier qui tient à l'assimilation fonctionnelle. Sous l'influence de fonctionnements répétés, la substance vivante, par l'assimilation fonctionnelle, se modifie plus que ne peut le faire la matière brute. Elle s'adapte plus étroitement et avec plus de souplesse.

En tout cas, le fait capital, c'est que l'habitude est une adaptation. On peut même dire, dans un certain sens, que toute habitude nouvelle correspond à la formation d'un organe nouveau. Il n'y a pas d'habitude plus merveilleuse que celle des pianistes; n'est-il pas juste de dire qu'il s'est formé, chez le pianiste, un organe dont la fonction est de jouer du piano?

L'habitude est une mémoire. On peut aussi bien dire inversement que la mémoire est une habitude. Il n'y a pas de différence entre ces deux phénomènes.

Toute sensation est due à une modification d'une cellule nerveuse. Sous l'influence de quelque changement extérieur, elle entre en fonction. Son fonctionnement donne naissance à la sensation. En fonctionnant, elle assimile; en assimilant, elle se modifie et devient capable de reproduire la même sensation.

La qualité de la sensation n'a aucune importance, elle n'est pas en question. La perception peut même manquer complètement. Souvent, sans éveiller aucune sensation, l'excitation venue du dehors provoque un réflexe, un mouvement parfaitement adapté. Le résultat est le même que si la conscience était intervenue.

Certains psychologues se préoccupent beaucoup de savoir si les mêmes causes produisent chez tous les hommes les mêmes sensations. Nous désignons ces sensations par des adjectifs que nous appliquons aux objets. Quand nous disons qu'un corps est rouge, cela veut dire, dans le langage de l'ignorant, qu'il cause une certaine sensation. Cette sensation, est-elle la même pour tous? C'est là une question mal posée : c'est un problème imaginaire. La seule chose importante, c'est que tous les hommes qui parlent français appliquent le qualificatif rouge aux mêmes corps, à la même lumière. Il est très simple de constater expérimentalement qu'il en est ainsi. Nous savons que la lumière rouge est produite par des vibrations électro-magnétiques d'une certaine longueur d'onde; toutes les fois qu'un homme voit du rouge, il est facile de constater que la lumière a en effet le nombre de vibrations qui correspond au rouge pour tous les autres. Et, quoi qu'on ait pu en dire, les daltoniens ne font pas exception à la règle. Il est faux qu'ils voient le rouge d'une autre couleur : ils ne le voient pas du tout. Le

rouge n'éveille pas chez eux la sensation d'une autre couleur : il n'éveille aucune sensation.

Il n'était pas besoin, d'ailleurs, d'expérience pour établir que le mot rouge correspond chez tous les hommes au même nombre de vibrations lumineuses. Il ne peut en être autrement.

Sous l'influence d'une excitation extérieure, la cellule nerveuse réagit et assimile. L'assimilation est en relations étroites avec l'excitation qui l'a produite. Elle y est aussi adaptée que la modification qui rend le sérum sanguin capable de dissoudre les globules rouges étrangers qu'on y a injectés et ceux-là seuls. A mesure que l'excitation se répète, l'adaptation devient plus précise et plus étroite. Ainsi se forment des organes de plus en plus parfaits, c'est-à-dire de mieux en mieux adaptés.

Il faut bien comprendre qu'il n'y a aucun rapport préétabli entre la sensation et la modification extérieure qui la produit. Ce sont les faits et leur répétition qui conduisent l'être vivant à constater cette relation. L'habitude l'amène à établir une relation fixe entre une certaine sensation et quelque chose qui se passe au dehors. C'est ainsi que l'animal prend connaissance du monde extérieur.

Pour que cette connaissance soit réelle, valable, il suffit que les mêmes causes produisent en lui les mêmes effets et qu'il en garde le souvenir.

On ne saurait douter que les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets : c'est la définition même du principe de causalité. Et, d'autre part, la mémoire n'est que le résultat de l'assimilation fonctionnelle. L'adaptation du cerveau est donc certaine.

L'immunité montre que les modifications produites par l'assimilation fonctionnelle sont capables de persister après la cause qui les a produites.

De même que les cellules dont le fonctionnement a modifié le sérum sanguin après des injections de substance étrangère quelconque continuent à le modifier alors même qu'on ne fait plus de nouvelles injections, de même la cellule nerveuse qui a fonctionné d'une certaine façon sous l'influence d'excitations extérieures répétées continue à fonctionner de la même façon. Toutes les fois qu'elle entre en fonction sous l'influence d'une cause capable de l'exciter mais incapable de l'altérer, elle fait naître, par son fonctionnement, la même sensation.

Une sensation ancienne réveillée par une autre cause que celle qui lui a donné naissance la première fois, c'est l'évocation du passé, c'est le phénomène fondamental de la mémoire.

Ainsi l'assimilation fonctionnelle permet de comprendre la mémoire, ses qualités et ses modalités.



Les mémoires que l'on admire le plus sont les mémoires promptes. Certains individus sont capables de retenir une page de prose après l'avoir lue une fois. Le protoplasma de leurs cellules nerveuses est d'une merveilleuse souplesse : une seule assimilation fonctionnelle suffit à le modifier. C'est une qualité assurément précieuse. Mais il est peut-être préférable d'avoir une mémoire durable et très sûre. La durée du souvenir est due à la persistance des modifications produites par l'assimilation fonctionnelle. Nous savons combien est variable la durée de l'immunité acquise à la suite d'une maladie ou d'une vaccination. Chez certains individus, elle persiste toute la vie : chez d'autres, elle s'éteint au bout de quelques années. La persistance d'un souvenir est du même ordre. L'immunité est une mémoire.

De même qu'on peut rafraîchir l'immunité par une nouvelle inoculation, on peut rafraîchir la mémoire par une impression nouvelle. Mais il n'est pas besoin pour cela d'une impression de même nature. Chaque fois que, sous une influence quelconque, un souvenir apparaît, les cellules fonctionnent, c'est-à-dire assimilent et, par là même, le souvenir se fixe.

Quand on perd la mémoire, sous l'influence d'une commotion cérébrale, ou de l'âge, ou d'une endarterite syphilitique, les souvenirs les plus récents disparaissent d'abord tandis que les plus anciens persistent. C'est un fait bien connu et je ne sais pas vraiment pourquoi il étonne. Tout le monde sait qu'il est plus difficile d'acquérir des notions nouvelles dans l'âge mûr que dans l'enfance. Cela revient à dire que les souvenirs acquis plus tard sont moins durables. Ils doivent donc s'évanouir les premiers quand la mémoire chancelle. Et l'explication de ce phénomène est simple à la condition qu'on veuille bien le dégager des extraordinaires complications psychologiques dont on l'a entouré. Dans l'enfance, les protoplasmas sont plus souples, non seulement parce qu'ils n'ont rien emmagasiné, mais parce qu'ils ne sont pas alourdis de réserves ou de substances squelettiques. Les cellules des plantes jeunes contiennent moins de cellulose que celles des plantes vieilles; les jeunes rameaux en contiennent moins que les vieux. Certains fabricants de cannes s'en vont dans les bois à la recherche des jeunes pousses d'une belle venue. En les coudant, en les courbant, en les pliant, en les entourant de ficelles en spirales, ils leur donnent des formes particulières qui se fixent et qui augmentent leur valeur. Les mêmes manœuvres, appliquées à des rameaux plus vieux, ou bien les tueraient ou

bien les casseraient. Les impressions du dehors amènent des réactions très vives dans les cellules nerveuses jeunes, c'est-à-dire une assimilation intense, d'où une modification plus durable.

D'autre part, les souvenirs de jeunesse sont ceux qu'on a le plus utilisés, auxquels on a fait le plus souvent appel soit pour ses besoins, soit pour sa satisfaction et l'évocation d'un souvenir a pour résultat de le fixer davantage.

Pour ces deux raisons, les souvenirs les plus anciens sont les mieux fixés. Ils doivent persister tant que les cellules sont capables de fonctionner, tant que persiste une lueur de mémoire.

* * *

La question de la mémoire comprend bien d'autres problèmes. Il y a beaucoup de manières de savoir et de ne pas savoir. Entre l'ignorance totale qui est l'absence de tout souvenir, et le souvenir précis qui se présente au moindre appel, il y a, dans tous les cerveaux, une foule de souvenirs difficiles à évoquer. Les cellules nerveuses ont été modifiées dans une certaine mesure par l'assimilation fonctionnelle, mais les nouvelles excitations ne réussissent pas à les faire fonctionner ou n'y réussissent que difficilement. Il y a là une quantité de nuances dont on se rend bien compte par les examens.

L'examinateur pose une question à un candidat et ce dernier ne répond rien. On peut attendre, il ne trouvera rien. Mais si l'examinateur insiste, s'il pose la question sous une autre forme, s'il sait manier l'ironie socratique et qu'il oriente un peu le candidat, celui-ci retrouve des souvenirs et parfois assez complets.

Que penser de ces candidats? Savent-ils ou ne savent-ils pas? Pour moi qui fais passer des exa-

mens de chirurgie, la question est celle-ci. En présence d'un malade, le candidat, devenu médecin, retrouvera-t-il ses souvenirs? L'excitation causée par la constatation d'un symptôme sera-t-elle suffisante pour faire entrer en fonction ses cellules cérébrales? Si oui, le candidat sait. Si non, il ne sait pas. Ses connaissances sont pratiquement inutilisables : elles sont comme si elles n'étaient pas.

Mais comment savoir dans quelle catégorie les ranger? Il suffit d'une tasse de café, d'un verre d'eau-de-vie pour faire retrouver des souvenirs que l'on croyait perdus. Les cellules imprégnées de caféine, d'alcool, d'essences se remettent à fonctionner plus facilement. Les toxines microbiennes produisent parfois le même effet. On voit des malades à demi délirants retrouver des souvenirs qu'ils sont incapables d'évoquer à l'état de santé, ou prononcer des mots d'une langue qu'ils ont entendu parler jadis mais qu'ils n'ont jamais apprise.

Ainsi il est des souvenirs qui se ravivent seulement dans des circonstances exceptionnelles; et, malheureusement pour certains cerveaux lourds, presque tous les souvenirs sont dans ce cas. Que se passe-t-il dans ces cerveaux? Une comparaison permet de le comprendre.

Une bonne allumette suédoise s'enflamme dès qu'elle entre en frottement avec la pâte. Il faut des frottements énergiques et répétés pour allumer les mauvaises. Il faut de même une excitation forte pour mettre en train les cellules torpides. Un cerveau vraiment utile doit avoir les mêmes qualités qu'une bonne allumette; il doit s'allumer facilement et rapidement.

La puissance enfermée dans un baril de poudre est énorme : mais pour l'utiliser, il faut une amorce.

Dans tous les phénomènes, l'amorçage joue un rôle capital. Suspendez deux poids égaux aux deux bouts d'une corde qui se réfléchit sur une poulie. Ils se feront équilibre et ne bougeront pas. Mais si vous amorcez un mouvement en donnant à l'un des deux une impulsion, le mouvement commencé continuera. Entre un cerveau très brillant et un autre très terne, il n'y a souvent qu'une différence dans la facilité d'amorçage.

Les cellules des différents cerveaux ne sont pas également sensibles à tous les excitants. Les sens sont les portes du cerveau et de la mémoire. Chez les uns, les cellules sont plus excitées par les impressions visuelles; chez les autres, elles réagissent davantage aux impressions auditives. Un adage latin affirme que les choses soumises aux yeux se fixent mieux que celles qui arrivent par l'oreille. Cette question a une extrême importance pour l'enseignement. Je ne puis la discuter ici et je me bornerai à dire qu'il faut autant que possible frapper tous les sens à la fois.

La mémoire n'est pas tout, mais elle est nécessaire à tout. Il est de mode, à l'heure actuelle, de la dénigrer et cela est pour moi tout à fait incompréhensible. J'envie profondément ceux qui sont satisfaits de leur mémoire. Heureux ceux à qui elle n'a jamais manqué; trois fois heureux ceux qui n'ont jamais regretté, qui ne regrettent pas à tous les instants de leur vie de ne pas savoir plus qu'ils ne savent.

Sans la mémoire, il n'y aurait non seulement aucune science, mais aucune pensée, aucune expérience. Un animal complètement dénué de mémoire ne pourrait même pas vivre.

La mémoire n'est pas l'intelligence, mais elle en est la condition. Il n'y a pas d'intelligence sans mémoire.

CHAPITRE VII

Intelligence et mémoire.

SOMMAIRE. — Définition de l'intelligence. — Pas d'intelligence sans mémoire. — Association des souvenirs. — Associations adaptées. — Intelligence et conscience.

L'intelligence est la faculté de constater les relations qui existent entre les phénomènes. Pour établir un rapport, une relation, il faut au moins, quand on observe un phénomène, se rappeler celui qui a immédiatement précédé. Mais cela n'est point suffisant. Une seule observation ne peut conduire à la notion de constance du rapport. Il faut, pour cela, un grand nombre d'observations. Celles-ci ne peuvent pas être simultanées : elles sont forcément successives et la mémoire est indispensable pour se les rappeler.

C'est le souvenir associé de phénomènes identiques ou similaires qui permet de faire les rapprochements d'où naît la science. Toute opération intellectuelle comporte une association d'idées, et cette association n'est possible que par la mémoire.

Je disais qu'il ne peut y avoir d'intelligence sans mémoire, j'ajoute qu'il n'y a pas d'intelligence puissante sans une bonne mémoire. C'est une grande force de pouvoir évoquer d'un coup un nombre considérable de souvenirs de façon à envisager les phénomènes au point de vue le plus général. Et encore

une fois, cette évocation est affaire de mémoire.

Je voudrais pouvoir insister sur cette question, dont l'importance est capitale. La querelle que l'on cherche actuellement à la mémoire est néfaste. Dans les Commissions où l'on étudie les questions d'enseignement, d'examens, de concours, on entend dire à chaque instant : « Nous ne voulons pas de cette épreuve, c'est une épreuve de mémoire ». Je n'ai jamais pu comprendre ce qu'on entend par ce reproche, car je ne vois pas comment on peut faire une épreuve de concours sans se servir de sa mémoire. Le candidat doit d'abord montrer ce qu'il sait, et on ne sait que par la mémoire. Il doit aussi, cela n'est pas douteux, montrer qu'il est capable d'utiliser ses connaissances. Mais le juge serait bien maladroit qui, dans l'épreuve la plus théorique, ne saurait pas discerner la valeur pratique du candidat. Je ne veux pas dire, d'ailleurs, que les épreuves pratiques sont inutiles : je les juge indispensables, et j'ai toujours soutenu qu'il faut les multiplier. Elles sont nécessaires pour maintenir une certaine orientation de l'enseignement. Il est toujours dangereux de perdre le contact avec les faits.

Mais je dis que les épreuves théoriques sont tout aussi nécessaires, car avant d'appliquer il faut savoir, et il faut bien savoir pour bien appliquer.

La tendance actuelle peut bien conduire à faire des rebouteurs mais non des médecins. Certains veulent remplacer la leçon par ce qu'ils appellent la démonstration. Ce mot est pris dans un sens qui n'a rien de commun avec la signification très élevée qu'on lui donne en mathématiques. Faire une démonstration, cela veut dire tout simplement montrer : montrer une expérience, montrer un nerf, montrer un malade. C'est une partie nécessaire de l'enseignement des sciences physiques et naturelles, mais c'est la partie

la plus grossière. Le but de l'enseignement, c'est avant tout de façonner l'intelligence, de développer de bonnes habitudes d'esprit, c'est d'apprendre la méthode.

Il est très fâcheux de faire croire aux jeunes gens que la mémoire ne sert à rien; il est très dangereux de supprimer de l'enseignement les exercices qui peuvent la développer Je ne veux certes pas, défendre les récitations absurdes qu'on nous faisait faire jadis. J'ai vu des enfants réciter dix lignes de latin dont ils ne comprenaient pas le sens. C'est là un exercice détestable. Il n'est pas de plus mauvaise habitude que celle d'employer des mots dont on ne voit pas clairement la signification. Mais ce serait un exercice excellent de donner à lire aux élèves une page ou un chapitre, et de leur demander ensuite de résumer, sans le livre, les idées et les faits, en leur faisant dire ce qui les a particulièrement frappés.

Je reviens aux qualités de la mémoire. Certains hommes ont une mémoire très sûre. L'excitation extérieure évoque facilement un souvenir, mais elle n'en évoque qu'un, celui qui est directement lié à l'excitation. Ce sont des esprits simples. Dans leur cerveau, les souvenirs ne s'éveillent pas les uns les autres. Il ne se fait pas d'association. Ces hommes sont incapables d'envisager les phénomènes d'un point de vue un peu général. Ils ont de la peine à saisir entre les phénomènes les relations établies, et ils sont tout à fait incapables d'en trouver de nouvelles. Quand de tels hommes font des sciences physiques ou naturelles, ils deviennent des aides excellents, et comme tels ils sont très précieux, mais ils ne font jamais des chefs de file. C'est une erreur de les mettre au premier rang.

Que se passe-t-il dans ces cerveaux? Une comparaison permet de le comprendre. La thermodyna-

mique nous enseigne qu'une réaction qui consomme de la chaleur ne peut se continuer par elle-même que si elle en produit plus qu'elle n'en consomme. Il semble que dans ces cerveaux la réaction ne produise pas assez de chaleur pour continuer et s'étendre. Ceci n'est qu'une comparaison, car la chaleur qui sert d'intermédiaire à tant de phénomènes ne joue certainement pas ce rôle dans les phénomènes vitaux.

Dans d'autres cerveaux, la réaction est au contraire violente et extensive. La moindre excitation produit un ébranlement considérable. Les souvenirs surgissent en masse; ils s'associent d'une manière imprévue, qui fait jaillir les comparaisons, les images. C'est le cerveau des grands poètes et aussi des grands savants. Nous verrons en quoi ils diffèrent.

Mais parfois cette réaction violente est désordonnée. Les souvenirs s'associent sans enchaînement. Ceux qui se présentent ne sont pas ceux que l'excitation devrait éveiller. Ce qui se passe dans les cerveaux de ce genre ressemble à une conversation de sourds qui ne font que des coq-à-l'âne. C'est cette forme de mémoire qui fait, quand elle est tempérée par l'autre, les fantaisistes, les humoristes, mais aussi, quand elle est triomphante, les esprits faux.

D'ordinaire, quand on dit d'un homme qu'il est très intelligent, on entend seulement par là qu'il saisit facilement ce qu'on lui expose et qu'il trouve aisément des idées, c'est-à-dire que ses cellules cérébrales entrent facilement en activité soit pour assimiler des notions nouvelles, soit pour retrouver les anciennes. Cette facilité n'est point l'intelligence, et si on entend le mot dans ce sens, on peut à la fois être très intelligent et avoir l'esprit très faux.

La véritable intelligence ne consiste pas dans la facilité. Celle-ci n'est même pas nécessaire. Certains esprits un peu lents, un peu lourds, ont une

valeur bien supérieure à celle de beaucoup d'esprits très brillants. J'ai dit que l'intelligence est la faculté de constater les relations qui existent entre les phénomènes. Sous une autre forme, c'est la faculté d'associer ses souvenirs dans l'ordre même où les phénomènes sont associés dans la nature. Je reviendrai dans un instant sur ce point capital, mais je tiens à faire remarquer d'abord que tous les phénomènes cérébraux dont je viens de parler peuvent se produire et se produisent souvent en dehors de la conscience. Les psychologues disent qu'ils se passent dans le subconscient. C'est un mot que j'éviterai d'employer, car il me paraît dépourvu de sens, à moins qu'il ne veuille dire à demi conscient. Si c'est le sens qu'on lui donne, il ne s'applique pas aux phénomènes dont je parle, car ils sont tout à fait inconscients.

Il est d'observation courante que l'on arrive par l'habitude à exécuter sans y penser des actes très compliqués qui nécessitent au début une grande application. Un pianiste habile fait des exercices de souplesse en pensant à autre chose.

De même le travail intellectuel, purement intellectuel, peut s'exécuter dans un cerveau entraîné d'une manière tout à fait inconsciente. Il peut être d'un ordre fort élevé, parfaitement coordonné; il joue un rôle capital.

Dans le cerveau d'un clinicien exercé, le diagnostic d'un cas difficile surgit souvent au cours de l'examen avant que les raisons qui justifient ce diagnostic lui apparaissent bien clairement. C'est un travail cérébral inconscient qui l'y a conduit.

J'ai lu une pensée très profonde, dont je regrette de ne pouvoir faire honneur à son auteur : je n'ai pu le retrouver, aussi je ne garantis que le fond. « L'inspiration est la brusque solution d'un

problème longtemps médité. » Ceci enseigne aux fainéants qui se croient du génie que s'ils attendent l'inspiration, ils attendront toujours. Les Muses ne visitent que ceux qui leur consacrent tous leurs efforts. C'est la longue méditation qui prépare l'inspiration. La solution paraît brusque, mais elle ne l'est pas. Les cellules cérébrales orientées, entraînées, ont continué leur travail en dehors de la conscience.

L'illustre H. Poincaré raconte qu'il avait cherché longtemps sans la trouver la solution d'un problème nouveau. Un jour, pendant un voyage, à un moment où il croyait n'y point penser du tout, la solution se présenta brusquement à son esprit, définitive et complète. C'est qu'il y pensait sans le savoir.

Les cellules cérébrales sont capables de travailler très activement à notre insu. Ce travail inconscient joue un rôle capital ; je suis convaincu que le cas de Poincaré, loin d'être exceptionnel, est habituel. C'est par ce travail inconscient qui suit la méditation, qui est orienté par elle, que les hommes de génie font leurs découvertes. Quand Newton disait qu'il avait découvert la gravitation universelle en y pensant toujours, il voulait peut-être dire que son cerveau y pensait à l'insu de sa conscience, qu'il y pensait sans le savoir.

Chez les plus humbles, le travail cérébral inconscient joue aussi un très grand rôle. Et c'est pour cela que la discipline, l'hygiène intellectuelle ont une si grande importance. Elles orientent le travail inconscient.

Gustave Le Bon a dit : « L'éducation est l'art de faire passer le conscient dans l'inconscient ». Ce qu'il faut surtout faire passer dans l'inconscient c'est la méthode. En quoi consiste-t-elle? Je n'ai pas encore les éléments pour le dire.

CHAPITRE VIII

Genèse des idées générales.

SOMMAIRE. — Conformité de l'excitation et de la réaction. — Sommation des souvenirs. — Elimination inconsciente des détails. — Simplification sans adjonction.

J'ai essayé de montrer que le cerveau est le produit de l'assimilation fonctionnelle. Depuis l'apparition de la première cellule nerveuse, tous les phénomènes qui s'y passent sont le résultat des excitations venues du dehors. Sous l'influence de ces excitations, par l'assimilation fonctionnelle, il s'adapte de plus en plus étroitement au monde extérieur.

Pour établir la valeur de nos sensations, il n'est même pas besoin de faire intervenir l'assimilation fonctionnelle; il suffit que pour une même excitation, la réaction cellulaire soit la même, et aucun esprit scientifique ne saurait douter un instant qu'elle le soit. Si elle est la même pour une même excitation et elle ne peut pas ne pas l'être, la répétition du phénomène entraîne nécessairement à établir une concordance entre l'excitation et la réaction, de telle sorte que cette réaction devient révélatrice de l'excitation. Ainsi s'établit une connaissance du monde extérieur qui ne peut pas être trompeuse. Elle peut être et elle est fort incomplète, mais elle ne peut pas être erronée.

De quelque façon que l'on envisage les choses, si on les prend dès le début de l'apparition de la première substance vivante et c'est ce que ne font jamais ni les darwiniens ni les néo-darwiniens, on est forcément conduit à cette conclusion, que nos sensations ne nous trompent pas sur le monde extérieur.

On pourrait encore faire remarquer qu'un être qui serait abusé par ses sens ne pourrait pas vivre. L'adaptation du cerveau est aussi nécessaire à la conservation de la vie que celle des autres viscères.

Il existe bien des phénomènes qui ne nous causent aucune sensation : ainsi ceux du magnétisme. Ils sont pour nous comme s'ils n'existaient pas, parce qu'ils n'ont pas d'action appréciable sur la substance vivante. Nous ne pouvons arriver à les connaître que par des détours. Ceci prouve que notre connaissance directe da la nature est incomplète, mais non qu'elle est erronée.

Ainsi, nos sensations sont adéquates à la cause qui les produit; elles sont conformes à la réalité.

Une idée n'est que le souvenir de sensations multiples. C'est la sommation d'un nombre plus ou moins considérable de souvenirs du même ordre. Ces souvenirs ne sont jamais absolument identiques : ils diffèrent par des détails. Mais, étant du même ordre, ils ont un certain nombre de caractères communs. Dans la sommation, ces caractères communs prennent plus d'importance et ceux qui sont constants se trouvent inévitablement mis en vedette.

L'évocation simultanée de souvenirs multiples du même ordre élague les détails inconstants et, à notre insu, nécessairement grandit les faits constants, c'est-à-dire leur donne leur importance réelle. Ainsi, l'idée prend une forme générale. C'est ce qu'on appelle, suivant les cas, une notion ou un

concept. Ces appellations ne correspondent à rien de mystérieux. La notion, le concept, ou plus simplement l'idée générale sont le souvenir global d'un grand nombre de constatations. Elles ne sont qu'une forme du souvenir : le souvenir n'est qu'une sensation répétée, et les sensations sont conformes à la réalité.

Les idées générales ont donc une valeur objective. Il ne faut pas les considérer comme quelque chose d'extraordinaire, représentant des principes supérieurs. Elles ont une extrême importance, mais elles n'en ont pas moins une origine expérimentale. C'est justement cette origine qui leur donne leur importance. C'est d'elle qu'elles tiennent leur réalité.

La manière dont elles se forment par sommation de souvenirs explique parfaitement qu'elles s'épurent en quelque sorte. L'oubli élimine les détails contingents, les caractères constants étant seuls maintenus par la mémoire. Ce travail d'élimination se fait physiologiquement à notre insu.

L'expression générale « *l'homme* » n'exprime aucun principe supérieur. — Je ne veux pas discuter la question des universaux, car je ne fais pas ici de psychologie, mais simplement de la physiologie. Ces discussions sont d'ailleurs stériles. L'expression « l'homme » signifie simplement tous les hommes. Cette conception générale se forme par le fonctionnement des cellules cérébrales. Elle se forme si complètement à notre insu que si nous cherchons quels sont les caractères constants qui lui donnent sa valeur, nous avons beaucoup de peine à les trouver. Et ils ne sont peut-être pas exactement les mêmes dans tous les cerveaux. Dans les uns, la mémoire est courte, de telle sorte que le nombre des souvenirs inconscients qui servent à la sommation n'est jamais

considérable. Ils se servent toujours de souvenirs relativement récents. Ces souvenirs ne sont pas encore épurés des détails. Comme ils ne sont pas nombreux, la comparaison ne peut pas les élaguer. Dans ces cerveaux à mémoire courte, les idées générales sont, si l'on peut ainsi parler, moins générales que dans les cerveaux à mémoire longue — elles ont moins de portée. — Ce sont des cerveaux plus enclins à l'analyse qu'à la synthèse. Ils ne sont pas faits pour les grandes conceptions scientifiques.

On pourrait arriver à une représentation graphique automatique de certaines idées générales. Cela n'aurait aucun intérêt. Si j'indique cette possibilité, c'est pour bien faire comprendre le mode de formation de ces idées. Elles sont en effet la base de la science. C'est de leur valeur que dépend sa valeur. Il est capital de bien se rendre compte qu'elles sont le résultat du fonctionnement physiologique, de l'assimilation fonctionnelle des cellules cérébrales.

Supposez que l'on photographie sur une même plaque plusieurs visages humains en les repérant de façon que les yeux, le nez, la bouche se superposent aussi exactement que possible. Par le développement de cette plaque, on obtiendra une image d'où tous les détails propres à chaque figure auront forcément disparu, mais où les caractères constants qui existent chez tous les modèles, la saillie du nez par exemple, seront fortement marqués. Cette image sera une représentation graphique de l'idée générale qu'aurait fait naître dans un cerveau l'observation des modèles qui ont posé.

L'idée générale n'ajoute absolument rien à la réalité. Ce n'est pas par adjonction qu'elle se forme ; c'est au contraire par élimination.

Elimination par oubli des détails ou des faits

exceptionnels, sommation par la mémoire des caractères constants, tel est le mode de formation des idées générales.

Ces idées sont donc conformes à la réalité.

De tout ce qui précède résulte qu'il ne peut y avoir dans le cerveau humain que des idées correctes sur le monde extérieur.

Il est malheureusement facile de remarquer que les idées fausses y abondent. Comment tant de billevesées ont-elles pu se développer dans un organe bien adapté? Il est très facile de l'expliquer.

CHAPITRE IX

Idées exogènes et idées endogènes.

Sommaire. — Observation externe et observation interne. — Sensation de fatigue et de repos. — Sensation de liberté. — Fétichisme. — Polythéisme. — Le destin. — Monothéisme. — Métaphysique. — L'esprit scientifique. — Art et science. — Observation et hypothèse. — Adaptation des colloïdes nerveux.

Je pense avoir établi la série d'égalités suivantes. Le fonctionnement des cellules cérébrales est adéquat à l'excitation. La mémoire due au fonctionnement de ces cellules modifiées par l'assimilation fonctionnelle est une image fidèle de la cause extérieure qui a produit l'excitation. Les idées générales sont la somme simplifiée de ces souvenirs fidèles. Les idées générales sont donc conformes aux phénomènes multiples qui ont produit l'excitation.

Toutes les excitations qui ont pour cause une modification du monde extérieur conduisent à des idées conformes à la réalité.

Mais les hommes ont un autre terrain d'observation que le monde extérieur. Ils ont des sensations internes ; ils prennent un extrême plaisir à s'observer eux-mêmes et c'est de là qu'est venu tout le mal. J'entends par « le mal » tout ce qui fait obstacle aux progrès de la science, et c'est en effet le plus grand mal pour l'humanité.

Les idées qui sont venues de l'observation interne ne sont pas nombreuses dans leurs formes simples ; elles sont seulement au nombre de deux. Mais elles sont protéiques, se glissent partout et ont suffi à empoisonner longtemps toutes les conceptions humaines. Les hommes ont transporté au dehors d'eux les idées nées de l'observation interne et ils ont conçu le monde sur un modèle humain.

Les hommes ont la sensation de fatigue que le repos fait disparaître. Toute activité est fatigante et l'immobilité repose. Aussi immobilité devient synonyme de repos, et l'on est entraîné à considérer tout ce qui est immobile comme se reposant. C'est cette tendance qui a conduït à la notion de statique, notion qui a longtemps vicié le langage scientifique et retardé l'introduction d'équilibre vrai ou faux qui fait rentrer l'ancienne statique dans la dynamique.

L'impression de fatigue est encore par bien des gens transportée dans le monde extérieur. Ils ont tendance à croire qu'une force physique se fatigue et par suite s'use. Cette impression très générale a peut-être retardé la découverte capitale de la permanence de l'énergie.

L'autre notion née de l'observation interne a eu des conséquences beaucoup plus graves.

La plupart des hommes ont la sensation d'agir librement suivant leur volonté. Je dis la plupart parce que c'est une sensation que je n'ai pas. J'ai, au contraire, la sensation nette et précise d'être dépourvu de toute espèce de liberté. C'est là, je pense, une simple question d'habitude d'esprit.

Les deux sensations de liberté et de volonté, qui n'en font qu'une, sont très vives chez la grande majorité des hommes et, dès qu'ils ont pensé, ils ont extériorisé cette notion et attribué tous les phénomènes

à des volontés semblables à celle dont ils croyaient jouir. Ne doutant pas de leur propre volonté, ils en ont donné une à tous les corps bruts et Xerxès a fait flageller l'Hellespont. Les enfants agissent de même sorte. Ils frappent du pied pour le châtier le caillou qui les a fait tomber. Bien des hommes, sous l'influence de la colère, retombent dans cet état d'esprit. J'ai connu un chirurgien éminent, mais violent, qui jetait à terre les instruments qui ne lui donnaient pas satisfaction et les ramassait pour les rejeter de nouveau.

L'absurdité de ce fétichisme grossier est devenu choquante, et alors a commencé dans l'espèce humaine un long travail de centralisation des volontés qui a conduit à la phase théologique de l'évolution intellectuelle. La centralisation progressive a réduit de plus en plus le nombre des volontés et on est arrivé au Dieu unique. Ce n'était peut-être pas un progrès.

On avait introduit dans les Olympes une divinité d'un caractère particulier qui n'était point libre et qui limitait la liberté des autres. Jupiter, le maître des Dieux, ne pouvait rien contre Saturne. Wotan, le dieu suprême des Eddas, était lié par les Runnes.

Saturne, les Runnes, c'était l'introduction dans les Olympes de la constance inviolable des rapports qui lient les phénomènes. Ils représentaient l'enchaînement nécessaire des faits, c'est-à-dire le principe de causalité qui est la base de la science.

Avec le polythéisme, les hommes pouvaient au moins être sûrs de quelque chose. Saturne pour les Grecs, les Runnes pour les Scandinaves garantissaient un minimum de constance dans les phénomènes, minimum qui pouvait déjà faire objet de science.

Avec le monothéisme, cette garantie disparaît. Le Dieu unique est absolument libre. Il lui plaît que

les choses soient ainsi aujourd'hui; il peut lui plaire qu'elles soient autrement demain. Le monothéisme n'est point favorable au développement de l'esprit scientifique. D'ailleurs la sensibilité a joué dans sa genèse un bien plus grand rôle que la raison.

La forme métaphysique de cet état d'esprit a été plus dangereuse encore pour la science.

La métaphysique est une prosopopée dont on est dupe. C'est une figure de rhétorique que l'on prend pour une réalité. Quand Schahabarim « de son bras étendu montrait dans le Bélier la porte de la génération humaine, dans le Capricorne, celle du retour vers les Dieux, Salammbô s'efforçait de les apercevoir, car elle prenait ces conceptions pour des réalités; elle acceptait comme vrais en eux-mêmes de purs symboles et jusqu'à des manières de langage, distinction qui n'était pas, non plus, toujours bien nette pour le prêtre ».

Les métaphysiciens procèdent de même. Ils considèrent les propriétés comme ayant une existence réelle, indépendante de tout substratum et ils en font des entités mystérieuses. D'autre part, n'apercevant pas l'origine expérimentale des idées générales que le transformisme explique si clairement, ils les considèrent comme ayant été déposées toutes faites dans le cerveau de l'homme. Les uns les regardent comme ayant une réalité supérieure aux faits. D'autres, au contraire, qui ont perdu la confiance dans la divinité, sont rendus sceptiques par cette origine un peu vague et ils arrivent à considérer les idées générales élémentaires comme une forme imposée arbitrairement à l'intelligence humaine et dépourvue de toute valeur objective. Cette variété pseudo-scientifique de la métaphysique est actuellement la plus répandue et c'est la plus dangereuse de

toutes. J'aurai à revenir sur ce point en étudiant les grandes abstractions et la généralisation.

J'ai voulu seulement montrer ici que les idées humaines ont deux sources. Les unes viennent de l'observation du monde extérieur, les autres ont pour point de départ l'auto-observation. Les premières ont une origine exogène, les secondes ont une origine endogène.

Les idées exogènes sont le reflet fidèle de la nature. Les idées endogènes ne correspondent à aucune réalité.

Les idées exogènes pures n'ont pas d'empreinte humaine. Elles ne pourraient être différentes de ce qu'elles sont. Tout être développé par l'évolution y est nécessairement conduit. Elles sont impersonnelles : elles sont la matrice de la Science.

Les idées endogènes sont, au contraire, remplies d'humanité. Elles sont non seulement humaines, mais personnelles. Elles sont la source de l'art et de la métaphysique.

L'habitude de penser soit avec des idées exogènes, soit avec des idées endogènes produit des mentalités si complètement différentes que celui qui manie ordinairement les unes devient à peu près incompréhensible pour celui qui se sert des autres.

Le penser exogène conduit à envisager les problèmes objectifs. Celui qui se rend bien compte que toute notion est d'origine expérimentale, étant certain de la base même de ses connaissances, est uniquement préoccupé de les étendre. Il concentre tous ses efforts vers la conquête scientifique de la réalité.

Le penser endogène conduit au contraire à envisager tout du point de vue subjectif. Celui qui s'en sert, ne saisissant pas ou n'admettant pas l'origine expérimentale de toute connaissance, se demande à chaque instant s'il n'est pas dupe. Aussi est-ce

la valeur de ses idées qui le préoccupe surtout. Il étudie non point les faits, non point la réalité extérieure, mais l'idée qu'il en a. C'est sur sa pensée qu'il concentre sa pensée. Il est bien moins préoccupé par exemple de la longueur d'onde des vibrations électromagnétiques qui font naître la sensation du rouge, que de la valeur de l'idée du rouge. Et comme il ne comprend pas la relation de causalité qui existe entre cette longueur d'onde et l'état des colloïdes nerveux, qui permet de la percevoir, il n'a plus aucun critérium pour juger la question qu'il se pose.

Celui qui n'admet pas le transformisme lamarckien intégral est condamné à croire à une création. Il peut bien se duper lui-même, par exemple en employant le mot hasard au lieu du mot Dieu. Mais le mot hasard est pris alors dans le sens où l'emploient les joueurs, et, dans ce sens, le mot n'a aucune valeur (voir pag 239). En dehors du transformisme intégral, il n'y a point d'autre explication des êtres vivants qu'une création, et avec la doctrine de la création, toutes les hypothèses sur la valeur des idées deviennent possibles.

Il reste bien une planche de salut. C'est qu'un être qui ne serait pas adapté au milieu, qui serait dupé par le monde extérieur ne pourrait pas vivre. C'est peut-être le vague sentiment de cette vérité élémentaire qui avait conduit les anciens métaphysiciens à considérer la valeur des idées comme supérieure à celle de la réalité. Mais les métaphysiciens modernes, désabusés de l'ancienne métaphysique, sont arrivés au contraire à mettre cette valeur en doute. Leur état d'esprit est bien singulier. De toutes leurs idées une seule trouve grâce devant eux, celle qui leur permet de douter des autres. L'idée que les idées n'ont pas de valeur est la seule idée qui mérite leur confiance.

L'homme qui pense avec des idées exogènes à l'esprit scientifique. Celui qui pense avec des idées endogènes ne peut faire que de l'art ou de la métaphysique.

La différence entre le savant et l'artiste réside non pas dans l'imagination, mais dans le matériel de la pensée, si l'on peut ainsi parler. Le premier se sert des idées exogènes, le second d'idées endogènes.

Il va sans dire que les deux modes de penser peuvent coexister dans le même cerveau. Le résultat de cette association est très différent suivant que celui qui les a les distingue ou les confond, les tient séparés ou les mêle.

S'il les tient séparés et qu'ils soient tous les deux fortement développés, il est à la fois un savant et un artiste. C'était le cas de Léonard de Vinci. Tout en faisant la distinction, il peut s'en servir simultanément, car il y a une part d'art et de sensibilité dans toute découverte scientifique, et les sciences les plus abstraites ont une beauté artistique. (Voir page 234.)

Mais s'il mélange les deux modes de penser, le résultat est lamentable. Le mélange total conduit à une certaine métaphysique matérialiste qui est à la mode. J'aurai à en citer de nombreux exemples.

Parfois, le mélange reste partiel. Certains savants pensent sur la majorité des questions avec des idées exogènes, et ils restent alors de vrais et parfois de grands savants. Mais sur certains sujets, leur sensibilité triomphe : ils introduisent les idées endogènes. Les uns font de leurs pensées deux parts séparées par des cloisons étanches. Ils gardent une foi religieuse tout en faisant de la science. Il y a en eux deux hommes dont l'un ne s'occupe pas de ce que pense l'autre. D'autres essayent de traiter les idées endogènes avec la méthode scientifique qui ne leur est pas applicable, et c'est ainsi que de grands savants sont conduits au spiritisme.

La caractéristique de l'esprit scientifique est dans la modalité de la pensée, et la méthode consiste surtout en orientation.

L'observation peut seule fournir une base à la science, l'observation du monde extérieur, non celle de soi.

L'observation scientifique ne consiste pas seulement à observer les faits. Elle doit s'efforcer de saisir les relations qui les unissent. Tendre son esprit vers les rapports constants; sous les phénomènes chercher la loi, c'est la première règle de la méthode scientifique.

Cette observation d'un ordre supérieur présente de très grandes difficultés. Le chercheur est pris entre deux nécessités contradictoires. Il doit observer en toute indépendance, avec un esprit libre d'idées préconçues. Il doit en même temps, pour bien observer, partir d'une hypothèse.

L'hypothèse est une condition nécessaire du progrès. Dans aucune branche de la science, on ne peut s'en passer. « Quand on se refuse à choisir l'hypothèse pour guide, a dit excellemment M. Gustave Le Bon, il faut se résigner à prendre le hasard pour maître. » C'est un mauvais maître, qu'aucun esprit vraiment scientifique ne peut accepter.

Toute hypothèse nouvelle suggère immédiatement de nouvelles expériences qui ne sont que des moyens de mieux observer.

Une hypothèse consiste essentiellement en une association d'idées. Ce n'est jamais la déduction seule qui y conduit. Le syllogisme sert non à trouver une conception, mais à la légitimer.

Une hypothèse a forcément un point de départ. Il faut s'assurer d'abord de la valeur de ce dernier. En accumulant des hypothèses sur des hypothèses, on ne peut construire que des édifices fragiles, des châ-

teaux de cartes. C'est la première règle de Descartes : « Ne recevoir aucune chose pour vraie qu'on ne la connaisse évidemment être telle ». Mais l'évidence n'a rien à voir dans la science. Descartes la considérait comme le critérium de la vérité. Elle ne peut pas l'être. L'impression d'évidence a deux origines : elle nous est donnée soit par l'habitude, soit par le raisonnement déductif.

L'habitude a une très grande valeur quand elle a été imposée par le monde extérieur. Elle constitue alors l'expérience phylogénique dont j'aurai à parler à propos des grandes abstractions. Mais elle peut avoir aussi pour origine des sensations internes : elle est alors dépourvue de toute valeur. Il suffit, pour s'en assurer, de constater que certaines propositions métaphysiques qui paraissent évidentes aux uns n'ont aucun sens pour d'autres. Il faut donc surveiller l'habitude, analyser son origine, et la rejeter si l'on y trouve quelque élément endogène.

De même, l'évidence provenant de la déduction ne devra être admise que si le point de départ du raisonnement est purement exogène.

Les associations d'idées se font si instinctivement qu'il est souvent malaisé d'en discerner les raisons. Il faut s'efforcer de le faire, car dans l'enchaînement se glissent avec facilité les idées endogènes, surtout les idées téléologiques.

La puissance d'association d'idées est très variable, et c'est d'elle que dépend en grande partie la force d'un esprit.

On voit des hommes qui ont une excellente discipline mentale, qui ne se servent que des idées exogènes, mais qui n'ont aucune force intellectuelle. Leurs idées ne s'associent pas : les réactions cellulaires ne s'éveillent pas les unes les autres.

Dans les cerveaux puissants des grands savants, les

idées s'associent correctement et abondamment. Ils saisissent des relations nouvelles. Leurs inductions sont conformes à la réalité.

L'adaptation de leurs colloïdes nerveux est si complète que leurs pensées sont en harmonie parfaite avec la nature. Ils devinent les faits et leurs relations bien avant de les démontrer. C'est ainsi que Pasteur devine les microbes, et Curie les lois de la cristallisation. Quand Robert Mayer a découvert l'équivalence mécanique de la chaleur, son éducation scientifique était si insuffisante qu'il était incapable d'exposer ce grand principe d'une manière correcte.

Et la preuve de cette harmonie admirable des beaux échantillons du cerveau humain avec la nature, on la trouve encore dans ce fait que de vieilles hypothèses, conservées en raison de leur commodité, finissent par être démontrées de nos jours : ainsi l'hypothèse des atomes et des molécules.

En somme, le cerveau humain ne peut pas ne pas être adapté. Les idées d'origine exogène, pures de toute adultération endogène, sont valables quand elles ont pour base des observations bien faites.

LIVRE II

L'ABSTRACTION ET LES GRANDES ABSTRACTIONS

L'assimilation fonctionnelle par l'intermédiaire du transformisme conduit à cette notion que les sensations causées par le monde extérieur sont en relation étroite avec la cause qui les produit. D'ailleurs le seul fait, et il est indéniable que les mêmes causes produisent les mêmes effets, entraîne nécessairement ce résultat que la relation entre les sensations et leurs causes a une valeur précise. Les observations humaines sont donc valables; elles fournissent à la science une base solide.

D'autre part, les idées n'étant que des souvenirs, ont la même valeur objective que les sensations, à la condition qu'elles soient vierges de toute impureté d'origine endogène.

Nous allons étudier dans cette seconde partie quels moyens les hommes ont employés pour saisir dans l'extrême complexité des phénomènes les relations constantes qui unissent certains d'entre eux et pour s'élever à des conceptions de plus en plus générales.

Deux grands moyens ont été utilisés : l'un est un artifice de simplification; c'est l'abstraction. L'autre est une extension de la notion de constance qui est née de l'observation; c'est la généralisation.

CHAPITRE I

L'abstraction.

SOMMAIRE. — Calembour sur le mot abstraction. — L'abstraction est une simplification. — L'abstrait est du concret épuré. — Abstraction illégitime et métaphysique. — Droit à l'abstraction. — Animisme; vitalisme; idée directrice. — Métaphysique matérialiste.

Par une sorte de calembour, le substantif abstraction et l'adjectif abstrait ont pris une signification presque mystérieuse qui est l'origine des plus graves malentendus.

L'abstraction est une simplification qui consiste à envisager exclusivement, dans un ensemble complexe, le phénomène qui a un intérêt immédiat.

Cette définition n'a pas du tout le caractère scientifique. Je la donne pour montrer que l'abstraction est bien antérieure à la science. Le nomade qui arrivait avec son troupeau devant un nouveau pâturage se demandait quelle était son étendue, c'est-à-dire sa superficie, pour apprécier le nombre de bêtes qui pourraient y vivre. Il faisait abstraction d'une des dimensions de l'espace, l'épaisseur, pour ne considérer que la longueur et la largeur qui seules l'intéressaient. Quand il devait aller d'un pâturage à un autre, il se demandait quelle distance les séparait. Il faisait abstraction de deux dimensions pour n'envisager que la troisième, seule intéressante pour le but qu'il se proposait.

L'abstraction est donc une opération très simple, élémentaire en quelque sorte, que l'on emploie à chaque instant sans y penser. Un enfant préfère une robe pour sa couleur, faisant abstraction de tout le reste, la forme, la nature de l'étoffe, etc.

Il est extrêmement difficile de ne pas faire d'abstraction. Quand on envisage une question quelconque, on fait toujours abstraction de quelque chose. C'est même parce qu'on fait abstraction de trop d'éléments que l'on commet tant d'erreurs de jugement.

J'ai écrit plusieurs fois : faire abstraction de quelque chose. Et, en effet, l'opération consiste à supprimer, à retrancher. Raisonnablement, on devrait donner le nom d'abstraction à ce dont on a fait abstraction.

J'ai besoin d'une ficelle pour ficeler un paquet. Il m'est indifférent qu'elle soit grosse ou fine, qu'elle ait une couleur plutôt qu'une autre, qu'elle soit faite de soie, de lin ou de chanvre, mais il m'importe beaucoup qu'elle ait une longueur suffisante, et je demande une ficelle longue d'un mètre. Qu'est-ce que j'ai abstrait? la grosseur, la couleur, la matière. Qu'est-ce que j'ai conservé pour l'envisager seule? la longueur. On devrait appeler abstraction ce que l'on a abstrait; c'est justement le contraire que l'on fait. On appelle abstraction ce que l'on conserve.

Voici une planche : les dimensions de sa surface seules m'intéressent. Je fais abstraction de son épaisseur, de sa couleur, de la nature du bois; je mesure sa superficie, et c'est le plan qui est l'abstraction.

On me demande d'aller d'un endroit à un autre. Faisant abstraction du moyen de locomotion, des difficultés de la route, je me demande : « Combien

de temps faut-il? » et c'est le temps qui est l'abstraction.

Il y a là, comme je le disais au début de ce chapitre, une sorte de calembour.

J'insiste sur ce point, qui me paraît très important. Il semble qu'on soit arrivé à s'imaginer, grâce à ce calembour, que l'abstraction confère des qualités mystérieuses aux notions ou aux faits qu'elle isole. Le domaine de l'abstraction est pour le vulgaire une sorte d'enceinte sacrée, remplie d'arcanes. On entend dire à chaque instant : « Je ne comprends pas, c'est trop abstrait ». Ceux qui prononcent ces paroles ne se doutent pas que si c'était moins abstrait ils comprendraient encore moins, car l'abstraction est un procédé de simplification.

Il faut bien se rendre compte qu'un artifice qui consiste à retrancher quelque chose d'un ensemble ne peut rien ajouter à ce qui reste, et d'ailleurs l'esprit ne peut jamais rien ajouter à la réalité.

Les notions simplifiées par l'abstraction gagnent cependant quelque chose : elles gagnent en généralité et d'autant plus qu'elles sont plus dépouillées de contingences. Ce qui reste après le travail d'abstraction est commun à un plus grand nombre d'objets ou de phénomènes. L'abstraction augmente la possibilité de généralisation. C'est là ce qui a conduit à considérer les notions abstraites comme ayant un caractère mystérieux.

On les regarde comme complètement distinctes des notions concrètes. Et là commence l'introduction des idées endogènes, car la nature ne nous montre jamais rien qui n'ait une réalité concrète. L'abstrait envisagé ainsi prend un caractère métaphysique. Quand on est engagé sur cette pente, on se met à exiger de la notion abstraite des qualités extraordinaires et tout à fait irréalisables.

Quand j'ai besoin de mesurer une surface plane, j'envisage exclusivement sa superficie. Cette superficie est une chose parfaitement concrète qui existe incontestablement. Mais pour le géomètre elle devient le plan, et si le géomètre a l'esprit embué de notions endogènes, il exige de ce plan des qualités si extraordinaires que ni la nature ni l'art ne peuvent les réaliser. Ainsi s'introduit la notion anthropomorphique de perfection.

Et l'on arrive à considérer l'idée de plan comme bien plus importante que toute espèce de plan. On lui attache un caractère mystérieux; la notion, si simple en réalité, devient un concept, et l'on va jusqu'à se demander si le concept n'a pas plus de réalité que les faits.

Quand on a le cerveau si habitué aux idées endogènes qu'on se pose des questions de cette sorte, on y répond presque inévitablement par l'affirmative. C'est ainsi que l'on arrive à la doctrine platonicienne, à celle des universaux. On est sorti du domaine scientifique, on est en pleine métaphysique.

Dès que l'on est arrivé à considérer l'idée que nous avons des choses comme plus importante que les choses elles-mêmes, on est tout naturellement conduit à se demander s'il y a une relation entre le monde des idées et le monde réel, et la question de la valeur objective de la science se trouve ainsi posée.

On a perdu de vue la réalité, de telle sorte que la vérité devient une notion subjective qui ne dépend plus guère que de l'adhésion qu'on lui donne. Les pragmatistes, qui me semblent être allés plus loin que tous les autres métaphysiciens dans cette voie singulière, déclarent que l'on choisit la vérité; et en cela ils sont plus logiques que ceux qui s'arrêtent en

route après avoir déclaré que la croyance est une forme de la certitude.

Pour celui qui a l'esprit scientifique, il y a là une série d'affirmations monstrueuses et qui lui seraient incompréhensibles s'il ne se rendait compte de leur genèse. Nous avons vu à quel moment se sont glissées les idées endogènes et comment elles ont embrumé la question si simple de l'abstraction.

Le joug métaphysique a pesé lourdement sur l'humanité; elle a beaucoup de peine à s'en affranchir. Je ne sais pas si le cerveau humain devait inévitablement passer, comme le veut A. Comte, par une phase métaphysique. Je crois en tout cas que cette phase aurait pu être plus courte. Les systèmes d'enseignement ont joué là un grand rôle. Alors que l'avenir seul a de l'intérêt, on tient obstinément l'esprit des enfants tourné vers le passé, et c'est ainsi que le délicieux Platon est devenu pour l'humanité un grand malfaiteur.

Il est si difficile de se débarrasser de toute métaphysique, de s'épurer de toute idée endogène, que le grand et génial ennemi de la métaphysique, A. Comte, n'y avait peut-être pas réussi complètement. Il est sans cesse préoccupé d'établir les relations entre l'abstrait et le concret. C'est pour lui un problème important. En réalité, il n'y a pas de problème du tout, car l'abstrait n'est que du concret épuré.

L'introduction de la métaphysique dans l'abstraction n'a que peu d'importance quand il s'agit de mathématique. Son importance va grandissant quand on passe à la physique et à la chimie, et surtout à la biologie.

Le droit à l'abstraction va diminuant de la mathématique à la biologie, mais certains esprits font d'autant plus d'abstractions qu'ils ont moins le droit d'en faire.

Il faut étudier le droit à l'abstraction et les limites de l'abstraction.

Le droit à l'abstraction. — Pour les sciences du nombre et de l'espace, toute abstraction est légitime.

L'abstraction du temps fait partie de la conception même de ces sciences, car elles étudient les rapports des nombres, les rapports des lignes, des surfaces, des volumes, tous rapports qui sont absolument indépendants de la durée. Nous manquons d'un mot général pour désigner les relations de cet ordre et c'est parfois fort gênant. Le mot phénomène ne leur convient pas, car il doit être réservé aux modifications où le temps intervient.

Dans les sciences de l'énergie, mécanique, physique, chimie, biologie, le temps joue toujours un rôle, car tout phénomène a une durée.

La question de l'abstraction y est bien plus délicate. Dans chacune de ces sciences, qui sont des sciences des phénomènes, on étudie les conditions dans lesquelles aucun phénomène ne se produit, et on donne à cette partie de ces sciences le nom de statique. Dans cette étude le temps n'intervient pas, puisqu'il ne se passe rien. Mais a-t-on jamais le droit de dire qu'il ne se passe rien? Et, par suite, l'abstraction du temps est-elle parfaitement légitime? Ceci est une question infiniment délicate. L'idée de statique est née de l'idée de repos, elle n'est pas absolument exogène, elle est teintée d'humanité.

L'étude statique n'est en somme que l'étude des conditions d'équilibre vrai ou faux, c'est-à-dire des conditions dans lesquelles les forces s'annihilent et ne produisent aucun travail. Est-il préférable de partir de la statique pour arriver à la dynamique

ou de partir de la dynamique pour aboutir aux conditions d'équilibre? C'est, je pense, cette dernière méthode qui prévaudra par l'énergétique.

De toutes les sciences des phénomènes, la mécanique est celle qui a poussé le plus loin l'abstraction. La mécanique rationnelle est une science surhumaine, supra-terrestre. Elle fait systématiquement abstraction de phénomènes qu'il est absolument impossible de supprimer sur la terre, les phénomènes de frottement. Elle a pour base ce principe qu'une impulsion communique à un mobile un mouvement rectiligne et uniforme. Uniforme signifie que le mouvement ne subit aucune modification dans sa vitesse, c'est-à-dire qu'il continue indéfiniment avec les mêmes caractères. C'est là un phénomène que personne n'a jamais vu et que personne ne verra jamais. Sur la terre, les frottements arrêtent bien vite les mouvements dus à une seule impulsion. Si loin qu'aille un obus, il s'arrête, et son mouvement n'est pas rectiligne. Il n'y a peut-être pas de frottement entre les astres et l'éther, mais leur mouvement n'est pas, ne peut pas être rectiligne. Il n'y a donc aucun moyen de voir un mouvement rectiligne et uniforme.

L'abstraction des frottements est-elle légitime ? Oui, car il n'y entre aucune idée endogène. L'auto-observation ne pouvait conduire à l'idée du mouvement uniforme et rectiligne. Cette idée choque même violemment les jeunes élèves à qui on l'enseigne. Elle leur cause une espèce de révolte et ils ont tendance à la considérer comme une convention arbitraire.

Ce n'est pas cela du tout. C'est une réalité, mais une réalité qui ne se réalise jamais. Il est parfaitement certain que si on pouvait supprimer toutes les causes de perturbation, une impul-

sion communiquerait à un mobile un mouvement rectiligne et uniforme, mais on ne peut pas supprimer toutes les perturbations.

Comment établit-on la réalité d'un fait inaccessible à l'expérience ? Il faut bien se rendre compte qu'il ne s'agit pas ici d'une extrapolation, d'une extension plus ou moins hypothétique d'une autre notion. Non, c'est par l'expérience que ce fait inaccessible à l'expérience directe est démontré. Voici comment. Un mobile étant donné, on peut savoir quelle est sa force vive. On constate expérimentalement dans quelle mesure il se ralentit, puis s'arrête. On connaît les causes qui s'opposent à son mouvement, la pesanteur, la résistance de l'air et quelle est leur valeur numérique. On connaît toutes les forces qui agissent sur le mobile soit pour le mouvoir soit pour l'arrêter. Le calcul permet donc de savoir ce qui se passerait si les forces d'arrêt étaient supprimées. Or, il conduit à ce résultat que le mouvement continuerait, rectiligne et uniforme.

Pourquoi a-t-on pris cette loi pour point de départ de la mécanique ?

Nous avons vu que les notions deviennent d'autant plus générales qu'elles sont plus abstraites. Or, de toutes les lois du mouvement, la loi de conservation du mouvement uniforme et rectiligne est certainement la plus abstraite, puisqu'elle est établie avec le maximum d'abstraction. C'est donc la plus générale et par suite la plus féconde.

Mais cette loi n'est qu'une manière d'exprimer l'inertie de la matière. Pourquoi lui a-t-on donné cette forme? C'est là une question d'un intérêt général. La manière dont on exprime une vérité a une importance. Si l'on donne au principe d'inertie cette forme simple—la matière est inerte—on n'en

peut rien tirer directement. Cette formule ne peut pas être exprimée en symbole ; on ne peut pas l'introduire dans une équation. Au contraire, si on l'exprime sous forme d'une de ses conséquences qui lui est si étroitement liée qu'elle la comprend tout entière et que l'on dise : « la vitesse d'un mobile soustrait à toute cause perturbatrice reste invariable » ou « le mouvement d'un mobile, qui échappe à toute influence perturbatrice est uniforme et rectiligne », il devient possible de la représenter par des algorithmes, et elle acquiert une fécondité telle qu'on peut en déduire toute la mécanique.

Précédemment (voir page 70) je me suis servi de l'inertie de la matière pour établir la valeur objective de nos sensations. La biologie est si loin de la période mathématique que la formule du mouvement uniforme et rectiligne aurait été inutilisable. Aussi me suis-je borné à dire que la matière n'a aucune spontanéité.

Newton s'est posé une question qui nous paraît singulière et qui rentre dans celle que j'étudie actuellement, le droit à l'abstraction.

Ayant établi la loi de gravitation, il s'est demandé si les corps animés y obéissaient comme les corps bruts, c'est-à-dire si l'on pouvait formuler la loi en faisant abstraction de la vie. Comme il avait déjà montré expérimentalement qu'il est légitime de faire abstraction de la constitution chimique des corps, il fit une expérience pour la matière vivante. Il construisit un pendule avec une boule creuse remplie de graines.

Cette expérience peut faire sourire bien des gens, elle n'en est pas moins un magnifique exemple de méthode scientifique.

A mesure que l'on avance vers les sciences plus complexes, le droit à l'abstraction diminue, les phé-

nomènes étant de plus en plus sous la dépendance du milieu. Mais vouloir étudier l'ensemble dans toute sa complexité, ce serait se condamner à l'impuissance. Simplifier les problèmes est une condition indispensable du succès; il faut donc procéder à quelques abstractions.

Alors l'abstraction ne peut plus se faire par simple prétérition. Dans toutes ces sciences, c'est par l'expérimentation qu'on marche à la recherche de la vérité. Or, toute expérience comporte des abstractions. On envisage une ou plusieurs circonstances que l'on fait varier artificiellement, et on suppose que les autres circonstances n'ont pas d'influence sur le phénomène. On ne manque pas d'ajouter dans l'exposé des recherches le cliché « toutes choses égales d'ailleurs ». Mais le plus souvent on ne sait pas, on pourrait dire qu'on ne sait jamais si toutes les autres conditions sont égales. Des phénomènes imprévus peuvent troubler l'expérience et conduire à l'erreur.

Dans un ballon où il avait enfermé de l'émanation de radium avec une solution de sulfate ou d'azotate de cuivre, Ramsay trouve de l'hélium, puis plus tard du lithium. Il en conclut que l'émanation du radium se transforme en hélium, puis en lithium. De nouvelles expériences montrent que le lithium venait non de l'émanation du radium, mais du verre du ballon. C'est à tort que Ramsay avait fait abstraction de la matière du récipient.

En biologie, c'est un gros danger de faire dans les recherches expérimentales des abstractions illégitimes. C'est pour mettre à l'abri de cette cause d'erreur que Cl. Bernard a recommandé avec tant d'insistance la méthode comparative. Elle consiste essentiellement à faire toujours une épreuve témoin. On fait des expériences multiples qui sont comparatives en ce sens qu'elles diffèrent seulement les

unes des autres par la condition que l'on veut étudier. On constate souvent ainsi que l'effet tient, non pas à la cause à laquelle on l'avait attribué, mais à une autre qu'on n'avait pas soupçonnée. Il est souvent très difficile de bien poser toutes les conditions d'un problème expérimental, et d'instituer toutes les expériences comparatives qu'il comporte. On ne songe pas à toutes les causes d'erreur : l'exemple de Ramsay le prouve.

Dastre cite un autre exemple très démonstratif. Un savant avait cru prouver l'existence d'une lipase dans le sérum sanguin. Après avoir mélangé de l'huile avec du sérum normal, il additionnait le mélange de carbonate de soude, et constatait que son alcalinité diminuait progressivement. D'où venait l'acide qui neutralisait l'alcalinité? Pour l'auteur, c'était l'acide provenant de l'huile saponifiée, et cette saponification prouvait l'existence de la lipase. Dans ce cas, l'expérience comparative consistait à additionner de carbonate de soude le sérum normal, sans huile. L'auteur ne l'avait pas faite. Or, cette expérience montre que l'addition de carbonate de soude au sérum normal fait diminuer son alcalinité. L'interprétation de l'auteur était donc erronée. L'huile n'était pour rien dans le phénomène, puisqu'il se produit sans elle.

Certains esprits penseront, sans doute, que ces questions n'ont rien à voir avec l'abstraction. Les expériences ont quelque chose de matériel qui leur paraît tout à fait distinct de l'abstraction. Il ne faut pas voir dans une expérience que l'acte expérimental. Il est parfois extrêmement délicat; il exige une habileté technique de premier ordre. Il y a même des expériences qui sont plus difficiles à réaliser qu'à concevoir, mais la conception et l'interprétation n'en ont pas moins un caractère scientifique d'un

ordre plus élevé. Vérifier expérimentalement si l'on a le droit de faire abstraction d'une certaine condition ne change pas le caractère de l'abstraction.

Encore une fois, l'abstraction n'a rien de mystérieux. Tout le monde y recourt à chaque instant inconsciemment. Dans une question quelconque, la plupart des hommes envisagent seulement un point particulier, celui qui les intéresse, celui qui les frappe : ils font tant d'abstractions qu'ils n'arrivent pas à envisager les choses dans leur ensemble.

La tendance spontanée est de faire des abstractions. Celui qui s'en méfie, qui se demande s'il a le droit de ne pas tenir compte de telle ou telle condition, si telle abstraction est légitime, est à un état d'esprit supérieur, plus scientifique.

Bien des hommes se posent si peu cette question qu'ils arrivent à faire abstraction de tout. L'abstraction totale est le propre de la métaphysique.

Un philosophe disait plaisamment : « Le botaniste qui veut décrire l'artichaut, décrit la tige, le fond, les feuilles, le foin. Le métaphysicien élimine tout cela et étudie le reste ».

Cette manière de procéder exposée sous cette forme paraît absurde : c'est cependant bien celle des métaphysiciens. Quand il s'agit des êtres vivants, ils éliminent tous les phénomènes physico-chimiques. Cette élimination faite, ils supposent, sans que rien les autorise à le faire, qu'il reste quelque chose. Ce quelque chose se remplit de mystère et prend une importance prépondérante : c'est l'âme. Pour les animistes, le corps des êtres vivants n'est qu'une statue que l'âme vient animer, comme elle anima la Galatée de Pygmalion.

A mesure que la science progresse, l'animisme bat en retraite. Les synthèses chimiques permettent de fabriquer dans les laboratoires beaucoup de subs-

tances qui paraissent propres aux êtres vivants. D'autre part, l'expérimentation montre que les tissus et même les organes complexes continuent à vivre séparés du corps. Dans tous les cours de physiologie, on démontre la circulation avec un cœur de tortue qui continue à battre longtemps après qu'on l'a séparé de l'animal. Il y a vingt ans, un cœur de tortue, préparé pour cette expérience, avait été oublié dans un coin du laboratoire de mon maître, le professeur Dastre. Il était là depuis quatre jours au moins quand nous le vîmes tout à coup se remettre à battre. Si ce phénomène surprit les témoins, c'est uniquement parce que le cœur avait été abandonné dans des conditions désastreuses. Aucun de nous ne doutait que si on lui avait fourni des conditions meilleures, il aurait continué à battre bien plus longtemps.

Comme le dit Dastre : « On réussit à faire vivre tous les organes, hors de leur place naturelle, pendant plus ou moins de temps : les muscles, les nerfs, les glandes, et jusqu'au cerveau lui-même ». Carrel, dans de très belles expériences, a réussi à faire vivre pendant plusieurs mois hors de l'organisme des cœurs d'embryons de poulet. Ces cœurs pendant ce temps se sont accrus. Ce phénomène de croissance a vivement frappé le grand public. Il est tout à fait correct, si je puis ainsi parler. Un organe d'embryon qui continue à vivre doit forcément croître. La difficulté de faire vivre des tissus ou des organes séparés de l'organisme est d'ordre purement expérimental. Si on arrivait à leur fournir sans les infecter les conditions où ils se trouvent dans l'organisme, bien qu'isolés, ils vivraient indéfiniment. On pourrait peut-être même leur éviter la vieillesse.

Les vitalistes, au lieu d'un seul principe qui suffisait aux animistes, en ont imaginé deux : l'âme pensante

d'une part, et puis un autre principe assurant le fonctionnement vital.

A mesure que les diverses parties de ce fonctionnement étaient expliquées par la physique et la chimie, le rôle de ce principe allait diminuant. Il n'agissait plus dans la production des phénomènes, il devenait un principe directeur, et, se réduisant encore, n'était plus qu'une idée de direction. Cette idée de direction nous l'avons trouvée à propos du transformisme. Certains néo-darwiniens soutiennent, nous l'avons vu, que ce n'est pas pour avoir été sur l'eau que les oiseaux aquatiques ont les pattes palmées, mais qu'au contraire ils ont été sur l'eau parce qu'ils avaient les pattes palmées. L'idée directrice n'est qu'une forme de la téléologie, c'est une cause finale.

Certains métaphysiciens honteux l'ont encore quintessenciée. L'idée directrice n'est pas agissante; elle n'a plus de réalité objective, elle n'a qu'une valeur subjective. C'est une nécessité de l'esprit. La dominante de Reinke est une sorte de guide de la force matérielle.

Il est très facile de suivre la genèse de ces idées, qui sont vieilles comme l'humanité. On a beau ratiociner sur elles, on ne change ni leur origine, ni leur nature. Ce sont les idées primitives de l'enfance de l'humanité et c'est parce qu'elles sont très anciennes qu'il est si difficile de s'en débarrasser. Elles font partie du patrimoine héréditaire et, par malheur, l'enseignement les entretient. L'idée du double qu'on trouve à l'aurore de la civilisation, qui existe déjà chez les sauvages, ne diffère guère de la conception métaphysique de l'âme.

Le cadavre d'un être vivant garde sa forme. L'ignorant ne peut saisir les modifications physico-chimiques qui ont supprimé la coordination entre

ses différentes parties. Dans ce cadavre, toutes les conditions matérielles lui paraissent — bien à tort — identiques à ce qu'elles étaient avant la mort ; et comme le dernier acte coordonné est généralement une profonde expiration, le dernier soupir, il est tenté de croire que par cet acte la vie a été chassée. La vie que les cerveaux primitifs considéraient sans doute comme quelque chose d'aérien, que les métaphysiciens ont complètement dématérialisée, n'est-ce pas ce qui donne la sensation de personnalité, de volonté, de liberté?

Les physiologistes savent bien que rien de particulier ne s'échappe des poumons au moment du dernier soupir. Mais il en est qui arrivent à la même conclusion par une voie différente, celle des abstractions successives. Ils éliminent successivement tout ce qui peut être expliqué scientifiquement et ils déclarent qu'il reste encore quelque chose. Ce quelque chose, c'est d'abord l'âme des animistes, c'est le principe spirituel des vitalistes, c'est les blas et les archées de Paracelse et de Van Helmont, c'est le principe directeur, l'idée directrice de Claude Bernard, c'est la dominante de Reinke. Sous toutes ces dénominations se retrouve la même orientation d'esprit. Elle est faite de deux éléments : la croyance que quand on a fait abstraction de tout, il peut rester quelque chose : l'idée que la sensation de volonté correspond à une réalité et qu'elle ne peut s'expliquer que par un principe immatériel.

Il faudrait d'abord démontrer qu'il reste quelque chose quand on a éliminé tout ce qui peut être scientifiquement expliqué : car il ne suffit pas de le baptiser pour prouver que ce quelque chose existe ; le baptême ne confère pas l'existence.

On est toujours ramené au principe de l'abstraction. C'est, je le répète, une méthode d'élimination.

Elle élimine; elle fait abstraction d'un certain nombre de conditions pour simplifier les problèmes. Si l'on se rend bien compte qu'il n'y a pas autre chose dans l'abstraction, il devient tout de suite évident que ce qui reste après élimination ne peut pas avoir de propriétés extraordinaires. C'est nécessairement quelque chose de réduit.

Quand l'on pousse l'abstraction jusqu'à tout éliminer, il ne reste plus rien, il n'y a plus d'objet d'étude, et la dialectique la plus ingénieuse ne fera pas de ce rien quelque chose.

S'il reste quelque chose, ce quelque chose ne peut avoir de vertu singulière, car, bien loin d'être augmenté par l'abstraction, il n'a pu être que simplifié.

Les métaphysiciens ont passé de l'âme totale à des sortes d'âmes partielles. Puis ils ont graduellement subtilisé les agents métaphysiques au point qu'ils ne sont plus que des noms donnés aux propriétés. La métaphysique, qui était une prosopopée, n'est plus qu'une série de métaphores.

Et actuellement, l'esprit métaphysique, toujours vivace, se traduit sous une autre forme. Au lieu de supposer une entité immatérielle qui explique le phénomène, on imagine une substance qui est spécialement chargée de le réaliser. Au lieu de lui donner un nom abstrait, on lui donne un nom concret.

Cette tendance n'est pas d'ailleurs nouvelle. Le phlogistique était considéré comme ayant une structure matérielle. Nous avons aujourd'hui une quantité incroyable de phlogistiques. La nomenclature d'Ehrlich en est faite. Comme le phlogistique était imaginé pour expliquer la combustion, les alexines, les sensibilisatrices sont imaginées pour expliquer des phénomènes particuliers, les particules représentatives sont imaginées pour expliquer l'hérédité.

La preuve de l'existence du phlogistique était que la combustion le faisait disparaître. La preuve de l'existence de l'alexine, c'est que le chauffage à 55° la détruit.

Tout cela est absolument antiscientifique. Ce sont des commodités verbales : elles sont très dangereuses parce qu'elles orientent les recherches dans une mauvaise direction.

S'il est vrai qu'une science n'est qu'une nomenclature bien faite, la biologie est bien loin de l'état scientifique. Heureusement, sous ces dénominations fantaisistes, existent des découvertes admirables.

CHAPITRE II

Les grandes abstractions.

SOMMAIRE. — Les grandes abstractions, espace, temps, énergie, sont les assises de la science. — A. Comte et l'absolu. — La terreur de l'absolu réintroduit dans la science un état d'esprit métaphysique.

Après ce court aperçu sur l'abstraction, sa légitimité et ses limites, il faut étudier les grandes abstractions qui sont le terrain, les assises de la science, l'espace, le temps, l'énergie. Comme la solidité d'une maison dépend de ses fondations, la valeur de la science dépend de ces abstractions. On les a beaucoup attaquées. C'est une sorte de mode de saper les principes de la science. Il y a là un phénomène très curieux. La tendance actuelle me paraît remonter à Auguste Comte.

Ce génial créateur de la philosophie scientifique avait compris que la métaphysique est le grand ennemi de la science. Aussi se proposait-il, comme but principal, de la détruire.

La métaphysique a la prétention d'être la science de l'absolu. Aussi Auguste Comte a-t-il proclamé que rien n'est absolu. Il aimait à répéter cette formule : « Rien n'est absolu si ce n'est cette proposition : tout est relatif ».

Pour lui, la science n'avait donc qu'une valeur relative. Mais dans son esprit, ce mot avait un sens

très précis. Il voulait dire, cela me semble du moins résulter d'un grand nombre de passages de son système de philosophie positive, que la science humaine n'est valable que pour le système solaire auquel nous appartenons. On pourrait dire, sous une autre forme, qu'il limitait le droit de généralisation de l'humanité à son système solaire. Dans le chapitre consacré à la généralisation, nous aurons à voir si cette restriction du droit de généralisation a vraiment le caractère hautement scientifique que Comte lui attribuait.

Je ne crois pas, en tout cas, que Comte ait jamais douté de la valeur objective de la science pour notre planète; mais la formule « rien n'est absolu » a fait fortune. C'est une de celles qu'on répète le plus souvent. Il semble qu'il suffise de l'employer pour prouver qu'on a l'esprit scientifique : et on l'emploie dans les sens les plus différents. J'entendais dire récemment : « il fait toujours beau le 14 juillet, mais enfin rien n'est absolu ». La formule n'avait ici que la valeur d'une restriction. Elle signifiait que la règle énoncée comportait des exceptions. C'est très souvent dans ce sens qu'elle est employée et ce sens n'a aucune valeur scientifique ni philosophique.

La terreur de l'absolu née de la crainte de la métaphysique a conduit à réintroduire dans la science une sorte d'esprit métaphysique.

En effet, on a considéré les principes de la science et particulièrement les grandes abstractions comme des concepts. Dès qu'on les envisageait ainsi, il devenait légitime d'étudier leur valeur. C'était même, en quelque sorte, un devoir scientifique de le faire.

Il y a là un artifice, volontaire ou non, qui permettait de réintroduire dans la science des discus-

sions métaphysiques, d'allure scolastique, dont on pouvait espérer qu'elle était débarrassée. C'est une sorte d'incident très fâcheux non seulement parce qu'il fournit des arguments aux éternels ennemis de la science, ce qui n'a pas grande importance, mais surtout parce qu'il peut retarder pour un temps l'évolution scientifique.

Les discussions auxquelles ont donné lieu les grandes abstractions ont des conséquences si graves qu'il est indispensable de les étudier.

CHAPITRE III

L'Espace.

SOMMAIRE. — L'espace est une notion phylogénique. — Mouvements inconscients coordonnés suivant l'espace. — Calembour sur le mot expérience; autre calembour sur le mot ici. — Les mots relatifs et absolus sont dépourvus de sens. — Supposition de M. Delbeuf. — Mesure du continu. — Hypothèses de Lorentz et de Fitz-Gerald. — Homogénéité et isotiopie de l'espace. — Espace vide et espace plein. — Les dimensions de l'espace. — Géométries non euclidiennes. — Le nombre et l'espace. — Nécessité de l'adaptation à l'espace.

Tous les êtres doués de mouvement ont à se mesurer avec l'espace, qui est pour eux rempli de dangers. Il leur faut éviter de tomber dans un trou, de heurter un corps dur. Il leur faut atteindre par des mouvements précis les aliments indispensables. S'ils étaient incapables de le faire, ils ne pourraient pas vivre, ils n'existeraient pas. Si obtus que soient leurs sens, ils leur fournissent un certain nombre de renseignements exacts sur leurs relations spatiales avec les objets qui les entourent.

Ces renseignements arrivent à la fois par la vue, l'ouïe, le toucher et le sens musculaire.

L'ouïe fournit des renseignements de direction; elle permet dans une certaine mesure de se rendre compte de la direction dans laquelle les vibrations sonores ont pris naissance. Elle renseigne sur deux

dimensions de l'espace. Mais sur la troisième, c'est-à-dire sur la distance à laquelle se trouve la cause de ces vibrations, les renseignements qu'elle donne ne sont que le résultat d'interprétations tirées de l'intensité du son, de l'amplitude des vibrations.

La vue nous fournit aussi des renseignements d'ensemble sur deux dimensions. Elle ne nous renseigne qu'indirectement sur la troisième. Nous apprécions la distance par l'angle sous lequel nous voyons les objets et par leur intensité lumineuse. L'angle sous lequel on voit un objet, c'est-à-dire sa dimension apparente, ne permet d'apprécier sa distance que si l'on connaît sa dimension réelle. La vue ne nous renseigne en rien sur la distance d'un astre, parce que nous ignorons ses dimensions. Si nous croyons un objet plus petit qu'il n'est réellement, il nous paraît plus rapproché. Si nous le croyons plus gros, il nous paraît plus éloigné. Nous arrivons à corriger ces erreurs dans une certaine mesure, en nous servant alternativement de l'un et de l'autre œil, ce que nous faisons d'une manière tout à fait involontaire et à notre insu. Nous *voyons* avec les deux yeux, mais nous *regardons* alternativement avec l'œil droit, puis avec l'œil gauche. La projection de l'objet regardé sur ceux qui l'entourent se déplace suivant qu'on se sert de l'un ou de l'autre œil. De ce changement de projection, nous savons tirer des renseignements sur la troisième dimension, sur la distance de la source lumineuse. Les borgnes se trompent sur la distance.

Mais l'œil ne perçoit que des vibrations. Ces vibrations sont déviées lorsqu'elles passent d'un milieu dans un autre. Nous voyons l'objet suivant la direction qu'ont les vibrations au moment où elles pénètrent dans le globe oculaire et nous le localisons

mal. Quand nous regardons un poisson dans l'eau, nous le voyons là où il n'est pas, à moins que nous ne soyons placés sur sa verticale. L'expérience conduit vite à corriger cette erreur de localisation. Les sauvages qui percent les poissons d'une flèche savent très bien tirer, non pas là où ils les voient, mais là où ils sont.

Les notions les plus exactes sur l'espace nous viennent du toucher et surtout du sens musculaire. Au cerveau primitif, la question ne se pose pas sous forme d'espace géométrique. Quand un singe saute d'une branche à l'autre, il ne se demande pas combien l'espace a de dimensions, mais il se rend compte qu'il doit se diriger ou à droite, ou à gauche, ou en haut ou en bas, que, si son bond ne le mène pas assez loin, il tombera, que, si le bond le mène trop loin, le contact de la branche lui causera une douleur.

Les constatations de ce genre maintes fois répétées conduisent à cette conclusion que, quand on a localisé un objet suivant trois plans, on sait où il est.

Le singe sait où est cet objet par rapport à lui; évidemment, il ne s'imagine pas qu'il connaît sa situation par rapport à la constellation d'Hercule. Il voit quels mouvements il devra faire pour l'atteindre et c'est tout ce qu'il désire savoir.

Les philosophes sont plus ambitieux. Ils envisagent l'espace pour lui-même : et ils se posent une première question. Qu'est-ce que l'espace? Aux questions de cette espèce, on peut toujours faire des réponses de deux ordres, et l'ordre de la réponse dépend des habitudes d'esprit.

Ceux qui sont habitués aux idées endogènes disent : l'espace est un concept de notre intelligence. Nous ne savons pas si ce concept est d'accord avec la réalité. Sa valeur est relative.

Ceux qui pensent avec des idées exogènes diront au contraire : l'idée d'espace vient de l'expérience. Des constatations maintes fois répétées ont appris aux animaux que les corps n'ont jamais que trois dimensions, qu'un objet qui n'est ni à droite, ni à gauche, ni en haut, ni en bas, ni en avant, ni en arrière d'un autre objet est toujours sur lui. Quand la curiosité a poussé les hommes à préciser leurs connaissances, il est devenu nécessaire de simplifier les problèmes pour les mieux étudier. Alors ils ont fait abstraction des corps pour étudier l'espace comme s'il était vide. Les besoins quotidiens de l'existence avaient d'ailleurs dès longtemps préparé cette abstraction. Pour mesurer les champs, les hommes avaient fait abstraction de l'épaisseur, n'envisageant que la surface. Pour mesurer la distance, ils avaient fait abstraction de l'épaisseur et de la largeur, ne conservant que la longueur, seule intéressante dans ce cas. La longueur, la largeur, l'épaisseur sont des réalités abstraites. Associées, elles constituent la notion d'espace. L'abstraction, qui consiste à envisager l'étendue comme si elle était dépourvue de toute matière, est légitime. Il n'y entre aucune idée endogène. D'ailleurs, en faisant abstraction des corps matériels, on ne confère à la place qu'ils occupaient aucune qualité mystérieuse. L'abstraction n'ajoute rien. S'il est vrai que la géométrie est la science de l'espace, il est tout aussi vrai qu'elle est la science des lignes, des surfaces et des volumes, qui ne sont pas des notions abstraites. Les procédés de mesure de l'espace vide servent aussi à mesurer l'espace plein. Il n'y a aucune différence géométrique entre les deux. L'espace abstrait, c'est-à-dire envisagé après que l'on a fait abstraction de la matière, reste une réalité concrète. Le mécanisme de l'abstraction ne change rien à la

nature du monde qui est chose concrète. L'idée que nous nous faisons de l'espace n'est que le résultat de l'expérience utilisée par la mémoire. C'est une représentation fidèle de la réalité.

Entre ces deux conceptions, il n'y a rien de commun et il semble bien qu'il n'y ait pas de continuité possible.

H. Poincaré, après avoir merveilleusement expliqué comment les êtres vivants ont pris connaissance de l'espace, arrive cependant à cette conclusion. « Ainsi la propriété caractéristique de l'espace, celle d'avoir trois dimensions, n'est qu'une propriété de notre tableau de distribution, une propriété interne de l'intelligence humaine pour ainsi dire. »

L'argumentation de M. H. Poincaré est très saisissante, parce qu'en analysant le mode d'acquisition des notions sur l'espace, il a l'air de se rallier au transformisme. Peut-être est-ce pour cela qu'on a fait si grand état de ses conclusions. Mais il y a là un trompe-l'œil.

Poincaré, à la manière de la majorité des transformistes actuels, ne prend pas les choses au commencement. Il ne fait intervenir le transformisme qu'à une époque avancée de l'évolution. C'est un transformisme partiel et par suite stérile.

S'il admet que l'espace est une conception de l'intelligence, c'est qu'il fait commencer la formation de la notion d'espace à une époque où l'intelligence existait déjà. C'est trop tard. Quand on prend l'évolution à partir de la première substance vivante, on arrive à la conclusion contraire. Ce n'est pas l'intelligence qui a façonné l'espace, c'est l'espace qui a façonné l'intelligence. Il a joué un rôle dans la formation des cellules nerveuses et un rôle prépondérant.

L'espace fait partie de la totalité de l'expérience.

C'est l'acquisition la plus ancienne des êtres vivants et par là même la plus fixée. Elle l'est à tel point que les philosophes n'en voient plus l'origine expérimentale et sont conduits à la considérer comme un concept de l'intelligence.

Les métaphysiciens trouvent leur pâture dans ces notions très élémentaires, celles-là mêmes qui sont nécessaires à la conservation de la vie des êtres les plus simples. Parce qu'elles sont nécessaires, elles sont très anciennes; parce qu'elles sont très anciennes, elles sont fixées, elles font partie du patrimoine héréditaire. Et c'est ce qui conduit à les considérer comme des concepts indépendants de l'expérience.

Il est étrange que l'observation des animaux inférieurs ne fasse pas réfléchir. Qu'on ne dise pas que nous ignorons l'idée que les animaux ont de l'espace. L'idée qu'ils s'en font n'a aucune importance. La seule chose qui importe c'est que leurs mouvements lui soient adaptés. Or, la précision de leurs mouvements ne peut laisser aucun doute à cet égard. D'ailleurs, s'ils se mouvaient d'une façon désordonnée par rapport à l'espace, ils succomberaient bien vite.

Certains animaux, les chiens, les pigeons voyageurs prouvent à chaque instant qu'ils ont non seulement la notion de l'espace, mais celle de l'orientation qui nous manque. Ils classent certainement les dimensions de l'espace par rapport aux méridiens et à l'équateur, tandis que nous ne sommes arrivés à les classer héréditairement que par rapport à la verticale, et sans doute les discussions métaphysiques sur l'espace leur resteraient incompréhensibles, même si leur cerveau se développait à l'égal de celui de l'homme.

*
* *

H. Poincaré se demande quelle est, dans l'éducation progressive de la construction de l'espace, la part de l'individu et celle de la race. Philosophiquement, cette question n'a d'intérêt que pour ceux qui distinguent l'instinct de l'intelligence, et cette distinction n'est pas légitime. L'instinct n'est que le résultat de notions expérimentales fixées par l'hérédité; c'est une adaptation héréditairement fixée. Il est immuable tant que les conditions qui l'ont produite persistent. Si les conditions changent, il faut que l'espèce modifie son instinct et évolue ou qu'elle périsse.

La notion de l'espace est bien plus ancienne qu'aucune des races actuellement vivantes. Ce ne sont pas les premiers hommes qui ont acquis les connaissances spatiales, ni même leurs ancêtres qui n'étaient pas encore des hommes, ce sont les arrière-ancêtres de leurs arrière-ancêtres. Ces notions indispensables à la vie remontent à un passé prodigieusement lointain. Les vers qui rampaient dans les océans il y a 18 ou 20 millions d'années les avaient certainement.

Si elles ne s'étaient pas fixées par l'hérédité, si tous les êtres devaient, comme leurs ancêtres les plus lointains, acquérir la connaissance expérimentale du monde ambiant, aucun progrès ne serait possible, la vie entière se passerait à ces acquisitions élémentaires.

Ce qu'est la notion d'espace dans le cerveau d'un enfant qui vient de naître, nous ne le savons pas, mais le poussin ne nous laisse aucun doute sur ce qu'elle est dans le sien. Il est à peine sorti de la coquille que d'un coup de bec très sûr il saisit une graine ou un insecte. Il n'a alors aucune expérience; il connaît

l'espace avant de l'avoir expérimenté : il naît documenté.

Les petits martinets sont prodigieux. Quand ils sortent du nid obscur, d'où ils n'ont pu acquérir qu'une expérience bien restreinte, ils se lancent du haut d'un clocher à travers l'espace.

N'est-il pas extraordinaire qu'on soit arrivé à considérer la notion d'espace comme un concept mystérieux qui puisse donner lieu à la moindre discussion, à la moindre considération d'un ordre élevé. En réalité l'intelligence, dans le sens que nous donnons à ce mot, n'y joue pour ainsi dire aucun rôle. Des mouvements très bien coordonnés par rapport à l'espace se produisent sans aucune participation des centres nerveux supérieurs où s'élaborent les phénomènes intellectuels. Je ne parle même pas des cas fréquents où l'on peut supposer que le mouvement, bien qu'inconscient, est cependant dû à une modification des cellules cérébrales, mais de ceux où le cerveau est supprimé physiologiquement ou matériellement.

Le chloroforme fait disparaître la sensibilité avant la motricité. A une certaine période de la narcose, toute conscience est abolie, alors que les mouvements ne le sont pas. A cette période, l'homme ou l'animal, parfaitement inconscient, est encore capable d'exécuter des mouvements de défense très bien coordonnés suivant l'espace. Quand on dépose une goutte d'acide sur l'abdomen d'une grenouille décapitée, elle cherche à l'enlever avec la patte la plus rapprochée, et si on lui ampute cette patte, elle se sert de l'autre.

Les notions aussi anciennes et par conséquent aussi nécessaires que celles de l'espace ne sont pas le résultat de l'intelligence ; elles en sont au contraire la cause. Chez les cœlentérés (v. page 72), l'élément

épithélial sur lequel agit le milieu, l'élément musculaire capable de mouvement, l'élément nerveux qui transmet à l'élément musculaire les modifications produites par le milieu extérieur sur l'élément épithélial, ces trois éléments ne sont pas dissociés. La sensation est certainement bien obtuse, peut-être même n'y a-t-il pas de sensation du tout. L'excitation n'en est pas moins transmise et le résultat, le mouvement, est obtenu. L'habitude arrive à coordonner le mouvement suivant l'espace alors que l'animal n'a sur lui que des notions bien vagues.

Se demander si chez l'homme les acquisitions sur l'espace sont dues à la race ou à l individu, c'est méconnaître que ces acquisitions sont bien antérieures à l'homme. Si l'on s'en rend compte, il apparaît tout de suite que l'intelligence humaine n'a rien à faire dans la question. Elle intervient seulement pour trouver le moyen de mesurer l'espace, et non seulement les parties qui sont proches, mais aussi celles qui sont inaccessibles. Si beau que soit ce travail de mesure, qui constitue la géométrie, il ne peut pas modifier l'idée que l'expérience nous a donnée de l'espace.

H. Poincaré se demande encore si l'on peut s'imaginer que les résultats des expériences qui nous ont conduit à la notion de l'espace auraient pu être différents et nous amener à une autre conception. Il répond : « Evidemment cela est possible; du moment qu'on s'imagine une expérience, on s'imagine par cela même les deux résultats contraires qu'elle peut donner ».

Il n'y a là qu'un jeu de mots, un calembour. Le mot expérience s'applique à deux choses fort différentes. Il désigne à la fois l'acte de l'expérimentateur, l'expérimentation et d'autre part l'ensemble

des conditions extérieures capables d'agir sur notre mentalité.

L'expérimentateur envisage en effet plusieurs possibilités, sans quoi il ne ferait pas l'expérience. Il pose une interrogation à la nature, et il règle les conditions de son expérience de telle façon que la réponse soit aussi claire que possible.

Mais est-ce qu'un expérimentateur peut avoir une action quelconque sur l'espace? Est-ce qu'il peut modifier quoi que ce soit à ses conditions? Il peut acquérir « de l'expérience », mais il ne peut faire « aucune expérience » à son sujet. Ce que dit Poincaré est vrai de l'expérimentation, mais il l'applique à l'expérience. Le calembour est rendu possible parce que le mot expérience s'applique à ces deux choses qui sont bien différentes.

L'espace a toujours agi de la même façon sur les êtres vivants. Par cette action ininterrompue, dont le début remonte aux premiers êtres mobiles et qui continue toujours, il a façonné le cerveau, il a imposé aux colloïdes nerveux un certain état d'où résulte une notion adéquate à la réalité, et cette notion c'est que l'espace a trois dimensions.

H. Poincaré fait remarquer qu'un homme qui revient deux jours de suite sur la place du Panthéon ne se trouve pas le second jour au même point de l'espace que le premier. Et, en effet, la terre s'est déplacée, par rapport au soleil, de plus de deux millions de kilomètres. Le soleil lui-même s'est déplacé par rapport à la voie lactée qui elle-même est sans doute en mouvement. Il est bien certain qui si un porte-monnaie oublié sur la place du Panthéon restait complètement immobile, il serait une seconde après bien loin de la place du Panthéon, puisque celle-ci se déplace, et nous n'aurions aucune chance de le retrouver. Mais il est absolument impossible qu'il reste immobile.

H. Poincaré, se trouvant sur la place du Panthéon, dit : « Je reviendrai *ici* demain ». Il se demande ce qu'il a voulu dire et arrive à cette conclusion : « En somme, j'ai voulu dire : Demain, je verrai de nouveau le dôme et le fronton du Panthéon, et s'il n'y avait pas de Panthéon ma phrase n'aurait aucun sens et l'espace s'évanouirait ».

S'il n'y avait pas de Panthéon, il y aurait un autre point de repère — et en tout cas l'espace ne s'évanouirait pas — il resterait ce qu'il est. Il n'y a dans tout cela qu'un nouveau jeu de mot sur le terme *ici.* Il est bien certain que les hommes se trompent s'ils croient désigner par le mot *ici* un point fixe, car il n'y en a pas pour eux; il est même probable qu'il n'y en a pas dans l'univers. Mais comment le fait de se déplacer peut-il modifier l'espace et le supprimer? Comment le mouvement qui suppose l'espace peut-il conduire à cette conclusion que l'espace est relatif?

Les épithètes relatifs et absolus appliquées à l'espace me semblent dépourvues de sens. L'espace est une réalité; nous avons beau en épurer la notion, elle s'applique à la même chose, c'est-à-dire à une réalité concrète, à un fait, et un fait n'est ni relatif ni absolu : il est ou il n'est pas.

Si les hommes sont absolument incapables de réaliser les conditions qui leur permettraient de se retrouver deux fois dans leur vie au même point par rapport à la voie lactée, il n'en résulte en rien ni que l'espace n'existe pas, ni que les hommes ne puissent arriver à connaître ses qualités et à les mesurer.

Ceci conduit à une autre question.

*
* *

Supposons, dit M. Delbœuf, que dans une nuit toutes les dimensions de l'univers soient changées,

qu'elles deviennent, par exemple, mille fois plus grandes. Nous n'aurons aucun moyen de nous en apercevoir.

C'est une manière de raisonner chère aux mathématiciens. Ils aiment à supposer les choses autrement qu'elles ne sont. Ils font des suppositions telles que le résultat qu'ils veulent atteindre le soit sûrement et comme ce sont des mathématiciens, leurs suppositions sont parfaitement coordonnées; on ne peut espérer prendre leur logique en défaut.

Qu'est-ce qui permet de juger scientifiquement la valeur d'une hypothèse? L'expérience et l'expérience seule. Or, ils font de la métaphysique en ayant l'air de faire de la science, car ils se placent d'emblée et volontairement en dehors de l'expérience; ils la récusent. L'adversaire qui ne veut pas les suivre sur le terrain stérile de la métaphysique est désarmé. N'ayant plus l'expérience à leur opposer, il est, par là même, dépourvu de tout argument.

Le plus sage serait sans doute de se borner à dire que ces suppositions (je ne dis pas ces hypothèses) sont sans intérêt, que si les choses étaient autrement qu'elles sont, nous ne savons pas du tout ce qui arriverait, nous ne savons pas quelle serait la mentalité des êtres vivants dans un autre milieu.

Peut-être peut-on faire un peu plus et montrer ou bien que ces suppositions sont sans intérêt ou bien qu'elles sont irréalisables.

Si toutes les dimensions de l'univers étaient modifiées dans les mêmes proportions, le monde modifié resterait géométriquement semblable à ce qu'il est. Les relations spatiales ne seraient pas changées et bien évidemment le mètre ne nous

révélerait rien puisqu'il serait modifié dans les mêmes proportions que tout le reste.

Mais que deviendrait la matière? Serait-elle soufflée comme un gaz emprisonné dans une enceinte sous faible pression? Dans ce cas, bien que les volumes fussent changés, la quantité de matière ne serait pas modifiée, ni l'énergie qui lui est liée. Dans ce monde agrandi, matière et énergie resteraient ce qu'elles sont dans le nôtre, et alors, bien que le mètre fût impuissant à nous révéler les changements de dimension, il ne serait cependant pas difficile de les constater.

Si les dimensions étaient doublées, un litre d'eau occuperait le volume de huit, mais il pèserait le même poids qu'actuellement. Le volume d'un kilogramme de charbon serait élevé au cube, mais sous ce volume augmenté, la quantité de charbon resterait ce qu'elle est aujourd'hui et son énergie aussi. Dans son tender agrandi, le mécanicien n'aurait que l'énergie nécessaire pour franchir les distances comprises entre deux stations de notre monde : mais comme il serait dans un autre monde plus grand, sa machine, faute d'aliments, s'arrêterait au milieu du voyage. Les dimensions d'une cartouche seraient modifiées de même façon, mais la force explosive de la poudre qu'elle contiendrait étant la même que dans notre monde, le projectile n'atteindrait pas son but. Le volume des astres serait modifié, mais leur masse restant ce qu'elle est aujourd'hui bien que les distances fussent doublées, l'équilibre de gravitation serait rompu et le monde s'effondrerait.

Ce n'est évidemment pas là ce que M. Delbœuf veut dire. Il suppose que la matière augmente avec l'espace en conservant les propriétés qu'elle a dans notre monde et que l'énergie augmente en même

temps dans les mêmes proportions. Alors, il n'y a plus de supposition du tout, car les choses ne seraient pas plus changées que si la commission du mètre le réduisait demain à cinquante centimètres. La supposition de M. Delbœuf montre tout simplement que les lois scientifiques n'expriment que des relations. (Voir page 278.) Il n'était pas besoin de ce détour pour le montrer.

Cependant, la supposition de M. Delbœuf n'est pas inutile. Elle contient en effet un aveu. Car, que l'on multiplie ou que l'on divise les deux termes d'un rapport par un nombre quelconque, il est bien certain qu'on ne change pas la relation.

Une même fraction peut s'exprimer d'une infinité de manières : 1/2, 2/4, 3/6, 4/8, 5/10, 6/12, etc., expriment toujours la même relation. Par conséquent, pour supposer que les dimensions subissent des modifications réelles, il faut commencer par admettre qu'elles ont une existence réelle. Ainsi, pour construire une supposition destinée à démontrer que les dimensions sont relatives, il faut commencer par admettre qu'elles ne le sont pas.

Ce qui frappe dans l'argumentation de M. Delbœuf, c'est que nous exprimerions par les mêmes nombres des grandeurs qui ne seraient plus les mêmes. Il y a là une confusion qui provient de l'emploi des mots relatif et absolu. Quand il s'agit de faits matériels, ces mots n'ont aucun sens. La longueur de mon stylographe n'est ni relative, ni absolue; elle *est* : c'est une réalité. Le nombre par lequel je l'exprimerai dépendra de l'unité de mesure que je choisirai; le nombre sera relatif à cette unité mais non pas la longueur. Le nombre variera suivant que je me servirai de pouces ou de centimètres, mais cela ne changera rien à la longueur du stylographe.

Les Anglais expriment en milles la distance de Londres à Paris. Nous l'exprimons en kilomètres. Est-ce que la distance est par là changée? Est-ce qu'elle n'est pas la même pour les Anglais et les Français? N'est-elle pas une réalité?

Les longueurs existent, personne n'en doute. Ce qui arriverait si elles étaient modifiées nous est tout à fait indifférent parce qu'elles ne peuvent pas l'être. Le seul point important, c'est de les mesurer. Et personne non plus ne doute qu'il soit possible de le faire.

Je me demande si toutes ces discussions n'ont pas simplement pour origine l'embarras de mesurer le continu. Le discontinu étant formé d'objets distincts se mesure par simple numération sans aucun artifice. La série des nombres cardinaux n'est que la numération du discontinu. Les nombres qui expriment une longueur, une grandeur continue quelconque ne sont, à proprement parler, ni des nombres cardinaux ni des nombres ordinaux. Ils ont la signification d'un rapport et peut-être y aurait-il avantage à les appeler des nombres métrologiques pour éviter des confusions. Il n'y a pas d'autre moyen de mesurer une grandeur continue que de la rapporter à une unité dont le choix ne peut être qu'arbitraire. Jéhovah, Jupiter, Allah, un tout-puissant quelconque ne pourrait ni mesurer, ni exprimer autrement une grandeur continue.

H. Poincaré écrit : « A-t-on le droit de dire que l'on connaît la distance entre deux points? Non, puisque cette distance pourrait subir d'énormes variations sans que nous puissions nous en apercevoir ». Cette phrase fait illusion. Poincaré parle d'une distance déterminée, la distance entre deux points. Or, il est bien évident que si cette distance-là variait toute seule, on s'en apercevrait immédiate-

ment, comme on s'aperçoit de l'éloignement d'une automobile en marche. Mais Poincaré suppose implicitement que toutes les dimensions varient et toutes les quantités aussi, quantité de matière, quantité d'énergie; alors, je viens de le dire, c'est comme si rien ne variait. C'est ce que Gulliver et Micromégas nous ont appris déjà.

*
* *

L'hypothèse de Lorentz et Fitz-Gerald est d'un caractère tout différent. Ce n'est plus une supposition, c'est une hypothèse d'un caractère scientifique et par conséquent discutable. Elle consiste à penser que le mouvement de la Terre produit une déformation des corps, et les aplatit dans le plan parallèle au mouvement.

Si cet aplatissement est réel, les figures géométriques sont déformées. Les cubes sont des parallélépipèdes; les cercles sont des ellipses. H. Poincaré part de là pour affirmer la relativité de l'espace. La déformation de Lorentz et Fitz-Gerald est si petite qu'elle échappe à nos mesures et par là elle est en dehors de l'expérience. Mais je ne veux pas tirer argument de l'impossibilité de la mesurer. Poincaré a d'ailleurs fait remarquer que si la déformation était cent ou dix mille fois plus forte, nous ne pourrions pas davantage la mettre en évidence.

Mathématiquement, l'affirmation de Poincaré est incontestable, mais à une condition : c'est que l'aplatissement soit proportionnel aux longueurs et à elles seules.

Est-il légitime de supposer une force qui agisse proportionnellement aux longueurs?

Nous connaissons des forces qui sont proportionnelles aux masses. Si la force aplatissante était de

ce genre, le raccourcissement d'un mètre de bois ne serait pas le même que celui d'un mètre de platine. Ces deux mètres, égaux tant qu'ils seraient orientés perpendiculairement au mouvement de la terre, deviendraient inégaux dès qu'on les orienterait parallèlement à ce mouvement.

Nous connaissons des forces qui agissent proportionnellement aux surfaces, ainsi la pression de radiation. Si la force d'aplatissement était de ce genre, de deux mètres de même métal, mais d'inégale épaisseur, le plus épais serait le plus déformé et la différence apparaîtrait.

Est-il possible qu'une force agisse sur les corps pour les aplatir proportionnellement à leur longueur sans violer le principe de la conservation de l'énergie, je ne le crois pas. Pour que la déformation de Lorentz et de Fitz-Gerald démontre la relativité de l'espace, il faudrait donc que le principe de la conservation de l'énergie fût abrogé.

Aucune des deux hypothèses dont je viens de parler ne me paraît porter atteinte à la notion d'espace. Je ne sais pas si la déformation de Lorentz et de Fitz-Gerald existe, mais si elle existe, la force qui aplatit les corps dans un sens ne peut pas être proportionnelle aux seules longueurs. L'aplatissement, s'il avait une valeur suffisante, ne passerait pas inaperçu.

* * *

Est-il plus intéressant de se demander si l'espace est homogène? Je ne le crois pas. Cependant la question a été posée et discutée et on en a fait une arme contre la valeur de la Science. Il faut donc l'envisager.

L'homogénéité de l'espace peut être comprise de deux façons.

On peut se demander si deux portions d'espace de même étendue prises en deux points différents sont identiques, et alors le mot homogène est pris dans son sens habituel. On peut se demander encore si l'espace a les mêmes propriétés dans toutes les directions et alors le mot homogène est pris dans le sens d'isotrope.

Mais quand on se pose ces questions, de quoi parle-t-on?

Si on parle d'espace plein, comprenant de la matière, les questions ne sont plus d'ordre spatial et, envisageant la matière qui l'occupe, nous saurons très bien dire suivant les cas qu'il est ou n'est pas homogène, qu'il est isotrope ou anisotrope.

Si on parle d'espace comprenant de l'éther, la question ne sera pas encore d'ordre spatial. Nous ne savons rien de l'éther. On peut dire cependant que ses équations sont construites comme s'il était isotrope.

Si l'on parle d'espace vide, c'est-à-dire de l'espace géométrique, le mot homogène pris dans son sens habituel n'a aucune signification. L'espace vide ne peut avoir de structure et, n'ayant pas de structure, il ne peut être envisagé qu'au point de vue de ses dimensions. Demander si l'espace géométrique est homogène revient à demander si deux portions d'espace de même étendue ont la même étendue, ce qui n'a pas de sens.

La question qui consiste à se demander si l'espace est isotrope en a-t-elle davantage? Qu'est-ce qui caractérise l'isotropie? C'est que la dilatation, l'élasticité, la conductibilité thermique et électrique, la vitesse de propagation de la lumière sont les mêmes dans toutes les directions. Qu'est-ce qui caractérise l'anisotropie? C'est que ces propriétés, dites propriétés vectorielles, n'ont pas le même coefficient

dans tous les sens. La matière amorphe et les cristaux cubiques sont isotropes : les cristaux appartenant à un autre système que le cubique sont anisotropes.

Les propriétés tropiques ou vectorielles ne sont pas dues à la forme du cristal. Quand on taille une sphère dans un cristal, ses propriétés ne sont pas changées, bien que sa forme extérieure le soit. Si je rappelle ces notions, c'est que peut-être certains esprits prenant la forme du cristal pour la cause de l'anisotropie pourraient être tentés de passer fort indûment d'ailleurs de la forme à l'espace. Je ne puis m'empêcher de croire que dans tous les cas où l'on introduit plus ou moins involontairement la métaphysique dans la science, on le fait toujours à la faveur d'une sorte de calembour, de confusion de mots, en prenant des images pour des réalités, ou rien pour quelque chose.

Les propriétés tropiques appartiennent à la matière, aux éléments de la matière. C'est elle qui engendre la forme du cristal et non la forme qui les produit.

Descartes disait : « L'espace c'est la matière ». Mais l'espace ainsi conçu n'est pas celui qu'envisage la géométrie. L'espace géométrique n'a qu'un ordre de qualités, les dimensions. Comment une dimension pourrait-elle avoir une propriété vectorielle? Ces mots ne peuvent être accouplés que par l'ignorance ou la fantaisie.

Le dilemme suivant s'impose. Ou bien l'on parle de l'espace rempli de matière, et alors c'est la matière qui le rend suivant les cas isotrope ou anisotrope : la question n'est plus spatiale. Ou bien l'on parle d'espace géométrique, vide de toute matière et alors comment *rien* pourrait-il avoir des propriétés vectorielles? Ce serait un effet sans cause

et nous arrivons à la même conclusion, il n'y aurait plus de principe de causalité.

Il est tout naturel, d'ailleurs, que nous soyons conduits à la même conclusion que précédemment, car sous deux formes différentes, c'est non seulement le même esprit qui se manifeste, mais c'est la même question qui est posée. Se demander si l'espace est isotrope, c'est au fond se demander si les dimensions des corps varient suivant les directions.

Et ceci montre que la réalité étreint ceux-là mêmes qui croient s'en libérer. Les efforts de leur imagination pour saper les bases de la science n'aboutissent qu'à des résultats bien peu variés.

*
* *

L'espace a subi des assauts d'un autre ordre. On s'est demandé quel est le nombre de ses dimensions. Le vulgaire distingue l'épaisseur, la longueur et la largeur. Il sait qu'un tableau a deux dimensions, la hauteur et la largeur, qu'une statue en a trois. Il est convaincu que quand il connaît la hauteur et la largeur d'une salle, il n'est pas renseigné sur l'étendue de la salle, mais que si à la hauteur et à la largeur, on ajoute la longueur, il ne reste rien à lui apprendre sur le cube de la pièce.

Certains géomètres ont changé tout cela. Ils ajoutent à l'espace une, même deux dimensions, et font de la géométrie à quatre, à cinq dimensions, et le plus extraordinaire, c'est qu'ils arrivent aux mêmes résultats pratiques.

Quand on dit à un homme ignorant des mathématiques, mais habitué à l'observation, que l'on a construit des géométries en attribuant à l'espace plus de trois dimensions, l'impression qu'il éprouve

est de l'effarement. Il cherche à se représenter la quatrième dimension. Considérant les objets qui l'entourent, il se demande dans quel sens elle peut bien se placer

Qu'il se rassure. Le géomètre qui en parle ne se la représente pas plus que lui.

Il y a deux manières de faire de la géométrie : la manière des Grecs qui se sert de lignes et de plans, qui opère sur des figures, et puis la manière de Descartes qui, substituant aux figures et aux plans des symboles, supprime toute représentation graphique : c'est la géométrie analytique. Elle a constitué un immense progrès en introduisant les mathématiques dans les autres sciences. C'est le commencement d'une évolution qui n'est pas près de se terminer. A mesure qu'une science se perfectionne, elle rentre dans la mathématique.

La géométrie analytique opère donc sur des symboles. Mais il faut que ces symboles représentent quelque chose. S'ils ne représentent rien, la science que l'on construit est un chapitre d'algèbre et non de la géométrie.

L'appareil mathématique est admirable. Sa puissance de vérité est énorme, mais dépend du point de départ. Qu'on me permette une comparaison très grossière. Si l'on met du sang de cheval dans une machine dont se servent les charcutiers, il en sortira peut-être du boudin, mais certainement pas de la charcuterie, si ce mot désigne les produits alimentaires qui viennent du porc.

De même, si on introduit de l'algèbre dans l'engrenage mathématique, il n'en sortira que de l'algèbre. Pour qu'il en sorte de la géométrie, il faut y mettre de la géométrie.

Beaucoup de mathématiciens pensent que l'on peut constituer une géométrie avec la seule

notion de nombre sans la notion d'espace.

N'y a-t-il pas là une illusion? Pour construire une géométrie sur l'idée de nombre, il faut rapporter le point à un système de trois nombres, et ces trois nombres représentent les dimensions de l'espace. Il faut adopter certaines définitions. « Il va sans dire, écrit Tannery, que les définitions auront dû être choisies de manière à satisfaire à des conditions qu'impose l'expérience. » Qu'est-ce qu'une science où l'on choisit les définitions? Si on les choisit librement sans se soucier de la réalité, c'est un jeu, ce n'est plus une science. Si on les choisit de manière à satisfaire à l'expérience, en vérité, on ne les choisit pas; on réintroduit indirectement et à grand'peine les notions expérimentales dont on avait eu la prétention de se débarrasser. Aussi il ne me paraît pas démontré que l'on puisse construire une géométrie d'où toute notion d'espace serait réellement bannie.

Les problèmes de géométrie analytique sont des problèmes à trois variables, qui correspondent aux trois dimensions de l'espace. Certains géomètres introduisent une quatrième variable et déclarent qu'ils font de la géométrie à quatre dimensions. Est-ce bien de la géométrie qu'ils font?

Les plus grands savants n'ont aucun doute à ce sujet. Tannery, comparant la géométrie euclidienne aux géométries non euclidiennes, écrit: « La question de savoir si l'une est plus vraie que l'autre ne se pose pas ». H. Poincaré pense de même qu'entre ces géométries, il n'y a qu'une différence de commodité.

Ce qui donne à cette conclusion sceptique une apparence de vérité, c'est que les diverses géométries arrivent au même résultat pratique. Le plan n'est plus un plan, la sphère n'est plus une sphère, un cylindre n'est plus un cylindre, mais la mesure

des distances, des surfaces et des volumes donne le même résultat.

Si les géométries non euclidiennes conduisent au même résultat que la géométrie euclidienne, c'est donc que les variables au-dessus de la troisième ne servent à rien. Ou bien elles ne représentent rien ou bien elles représentent quelque chose qui est sans action sur l'espace, le temps par exemple. Mais on n'a aucun droit d'affirmer qu'elles représentent une dimension de l'espace.

***

On a cru aussi démontrer la relativité de l'espace par un procédé inverse. Pour établir que c'est un concept de notre intelligence, on s'est demandé si la notion d'espace est la même chez tous les animaux, et l'on a fait état d'une hypothèse de M. de Cyon. Les souris japonaises n'ayant que deux paires de canaux semi-circulaires, M. de Cyon a pensé que ces animaux considèrent l'espace comme n'ayant que deux dimensions.

Il n'est point aisé de savoir ce que les souris japonaises pensent de l'espace, mais il est facile de voir comment elles se comportent vis-à-vis de lui.

Quelque bizarres que soient leurs mouvements de rotation, on peut affirmer que si, à une époque de leur évolution, elles n'avaient eu notion que de deux dimensions de l'espace, elles se seraient si souvent cogné le nez que, ou bien elles seraient mortes, ou bien elles auraient acquis la notion de la troisième dimension.

H. Poincaré dit que « nous pourrions concevoir, vivant dans notre monde, des êtres pensants dont le tableau de distribution serait à quatre dimensions et qui par conséquent penseraient dans l'hyperespace ». Il n'est pas nécessaire de discuter la valeur ou

l'intérêt de cette conception, car H. Poincaré ajoute : « Il n'est pas certain que de pareils êtres, en admettant qu'ils y naissent, pourraient y vivre et s'y défendre contre les mille dangers dont ils seraient assaillis ». C'est l'aveu que la géométrie euclidienne n'est pas seulement la plus commode, mais qu'elle est aussi la seule vraie; c'est-à-dire que l'espace a réellement trois dimensions.

*
* *

L'espace a résisté aux attaques. Comme toutes les abstractions légitimes, il n'est que du concret épuré; il est une réalité et, comme toutes les réalités, il est intangible. L'idée qu'on s'en fait n'a aucune importance. Un animal décapité et par conséquent sans idée est encore capable pour un temps de se comporter correctement par rapport à lui. D'ailleurs, pour le transformiste lamarckien, l'idée est nécessairement calquée sur la chose, car, encore une fois, ce n'est pas l'intelligence qui a façonné l'espace, c'est l'espace qui a façonné l'intelligence. L'espace ne dépend pas de ce que Poincaré appelle notre tableau de distribution, c'est au contraire notre tableau de distribution qui dépend de l'espace. Quand on envisage la Science du point de vue de l'assimilation fonctionnelle, toutes les questions sur la valeur de nos idées exogènes héréditairement fixées deviennent oiseuses : elles ne se posent même pas.

CHAPITRE IV

Le Temps.

SOMMAIRE. — Il n'y a pas de science du temps. — La durée n'est pas encore représentée dans les lois. — Pour nier le temps, on est obligé d'employer un langage qui suppose son existence. — Temps psychologique. — Le temps et le principe de causalité. — La réalité du temps est prouvée par l'irréversibilité des phénomènes. — Mesure du temps. — Superposition de deux durées.

De toutes les abstractions, c'est le temps qui s'est le plus douloureusement imposé aux hommes. S'ils ne souffrent guère d'être limités dans l'espace, ils souffrent cruellement d'être limités dans le temps. Ils savent qu'il conduit à un terme inévitable et redouté. Ils l'appellent le grand maître. Les polythéistes ont imaginé un dieu du temps, sans faire cet honneur à l'espace. Son caractère inéluctable avait si fortement frappé les Grecs que pour eux le dieu du temps, Saturne, se confondait avec le destin. Par là, ils avaient introduit jusque dans l'Olympe une notion scientifique, et leur polythéisme était plus près de la Science que la métaphysique.

On m'a enseigné autrefois que la prescience de Dieu étant hors de doute et la liberté humaine également, il fallait bien, pour supprimer la contradiction violente qu'il y a entre ces deux affirmations, que le temps fût une simple conception de

notre esprit sans valeur objective. Pour ceux qui pensent ainsi, il est nécessaire que le temps n'existe pas. Aucune discussion n'est possible avec eux, car ils sont dans le domaine de la foi.

Scientifiquement, le temps est l'abstraction qui correspond aux phénomènes, comme l'espace est l'abstraction qui correspond aux formes.

Mais pour le temps, l'abstraction est peut-être moins complète que pour l'espace. En concevant l'espace pur, vide de toute matière, nous nous faisons certainement illusion. Celle-ci nous est rendue facile parce que la représentation de l'espace est une représentation optique, et que les gaz, à plus forte raison l'éther, sont invisibles. Quoi qu'il en soit, il y a une science de l'espace qui est la géométrie, aussi personne n'ose nier l'espace. Les philosophes discutent bien sur ses qualités, mais non sur son existence.

On ne réussit pas à se représenter le temps complètement vidé de phénomènes, une durée où il ne se passe rien. D'autre part, il n'y a pas pour le temps de science comparable à ce qu'est la géométrie pour l'espace. De plus, sans doute parce que la géométrie, où le temps n'intervient pas, est la première science qui se soit développée, on a pris l'habitude de ne pas représenter le temps dans les sciences où il intervient. En cinétique, il est représenté par la vitesse. Mais dans les autres sciences on n'en tient compte qu'exceptionnellement.

Les questions de durée préoccupent très vivement les chercheurs, mais le résultat de leurs travaux n'est pas encore entré dans l'enseignement. On parle couramment par exemple des solutions, sans tenir compte du temps de solution, sans tenir compte du temps de vaporisation. En chimie, on ne note pas le temps de réaction.

C'est une lacune qui sera comblée un jour ou l'autre. Le temps joue un rôle dans tous les phénomènes. Aucune énergie n'agit d'une manière instantanée.

Ces mauvaises habitudes expliquent peut-être que les philosophes qui n'osent point nier l'espace osent nier le temps.

Certains, dont M. Bergson, se sont entraînés involontairement à rattacher la notion de temps à la notion d'espace. D'autres ont préféré rattacher la notion d'espace à la notion de temps. Cette virtuosité subjective peut être amusante pour des artistes en psychologie, mais elle me semble n'avoir aucun intérêt scientifique.

L'idée qu'on se fait du temps n'a pas plus d'importance que l'idée qu'on se fait du rouge. Avant qu'il y eût aucun être pour regarder les vibrations lumineuses, leur longueur d'onde était la même et, comme le dit Sully Prudhomme, « la Grande Ourse luira sur le dernier des morts ». De même le temps est indépendant de l'humanité. C'est l'humanité qui est sous sa dépendance et il l'étreint de telle façon qu'il n'est pas une phrase du langage humain où il ne soit exprimé. Les verbes indiquent le présent, le passé et le futur et dans les phrases de forme générale où l'indicatif ne signifie pas le présent, il veut dire toujours, comprenant à la fois le passé, le présent et l'avenir.

Comme il est impossible, même aux logisticiens, de parler des nombres sans employer des mots ou des symboles qui signifient un ou plusieurs, de même il est impossible de parler du temps sans employer des mots qui expriment la durée.

Ainsi M. Bergson, alors qu'il veut établir que la notion de temps se rattache à la notion d'espace, écrit : « La durée toute pure est la forme que prend

la succession de nos états de conscience ». Dans cette phrase se trouve le mot « succession », mot qui n'a aucun sens si le temps n'existe pas indépendamment de l'espace. Même pour nier le temps, on est forcé de recourir à des façons de langage qui supposent son existence.

C'est l'une des raisons qui rendent si irritantes les discussions sur ce sujet. Il n'en est pas qui le soient davantage pour ceux qui s'occupent des sciences expérimentales.

S'il n'y a pas de science du temps comparable à la science de l'espace, on peut dire que toutes les sciences qui étudient les phénomènes sont des sciences du temps. Car elles conduisent à prévoir.

Aussi les discussions sur le temps n'ont au fond aucune espèce d'importance. Ceux-là mêmes qui le nient se comportent pratiquement et scientifiquement comme s'il existait. Presque au même moment où, dans un livre justement célèbre, Poincaré, philosophe, niait le temps et affirmait l'impossibilité de le mesurer, Poincaré, mathématicien, étudiait dans une magnifique conférence la question de savoir si la vitesse de la lumière n'est pas la vitesse maxima possible. Le savant et le philosophe devaient faire en lui bien mauvais ménage, car comment nier le temps et parler de vitesse, puisqu'une vitesse est nécessairement fonction du temps ?

*
* *

A la base de toutes les discussions sur le temps, on trouve l'erreur dont j'ai parlé maintes fois, qui consiste à admettre que les concepts ont été déposés dans notre esprit par quelque divinité qui a pris plaisir à nous tromper. Pour le biologiste, l'origine

expérimentale de la notion de temps apparaît clairement. Sa formation s'explique, comme toutes les autres acquisitions des êtres vivants, par l'assimilation fonctionnelle. C'est là le vrai garant de sa valeur objective, et puisque aussi bien ceux qui nient le temps n'hésitent pas à le faire figurer dans les équations, le plus sage serait certainement de laisser de côté des discussions où la métaphysique tient une place prépondérante.

Mais bien qu'on voie l'erreur du point de départ et l'absence de raisons sérieuses, il est désagréable de laisser derrière soi une argumentation qui cause sinon de l'inquiétude, du moins de l'irritation. Une épine qu'on a dans le dos n'empêche pas d'aller de l'avant, mais elle agace pendant que l'on chemine.

On ne peut démontrer le temps que par le temps, c'est-à-dire qu'on ne peut pas le démontrer. Je n'ai pas la sottise de croire que je vais en donner une démonstration. Mais je tiens à faire remarquer qu'il n'y a rien là de spécial au temps. On ne démontre ni les principes ni les faits, et le temps est un fait.

Si on arrivait à démontrer le temps, ce serait en se servant d'une autre notion qui serait elle-même indémontrable. Le bénéfice serait mince. Quoi qu'on fasse, on arrive toujours à une constatation expérimentale, car il n'y a pas d'autre base à nos connaissances que l'expérience.

S'il est puéril de vouloir démontrer le temps, il ne l'est peut-être pas de montrer à quoi conduit sa négation, de se demander si l'on exprime vraiment une idée, si l'on n'est pas dupe des mots en niant son homogénéité, et de chercher enfin si les découvertes scientifiques ne permettent pas de le comprendre autrement qu'on ne le faisait autrefois.

H. Poincaré semble attacher une extrême importance au temps psychologique. Il insiste beaucoup

sur ce que nous n'avons pas l'intuition directe de la simultanéité ni de deux intervalles de temps. Cela veut dire que notre cerveau n'a pas d'appareil à mesurer le temps. Il n'en a pas de meilleur pour mesurer les longueurs ou les énergies. Non seulement il est incapable de mesurer le magnétisme, mais il n'en a aucune conscience. Cela empêche-t-il le magnétisme d'exister?

H. Poincaré va beaucoup plus loin. Ainsi il rappelle qu'en 1572 Tycho-Brahé vit dans le ciel une étoile nouvelle. La lumière partie du point où s'était produite la conflagration qui avait allumé cette étoile avait mis deux cents ans au moins avant d'atteindre la Terre. La conflagration était donc antérieure à la découverte de l'Amérique. « Quand je dis, écrit H. Poincaré, que ce phénomène est antérieur à la formation de l'image visuelle de l'île d'Espagnola dans la conscience de Christophe Colomb, qu'est-ce que je veux dire? Il suffit d'un peu de réflexion pour comprendre que toutes ces affirmations n'ont par elles-mêmes aucun sens précis. »

Pour le commun des mortels, ces affirmations ont un sens suffisamment précis. Les historiens savent à quel moment Colomb a vu l'île; — les astronomes savent à quel moment s'est produite la conflagration qui a allumé l'étoile. En rapprochant les deux dates, on constate que l'un des événements est antérieur à l'autre.

Il semble que le point important pour Poincaré, c'est que la conflagration céleste n'a été vue par personne au moment où elle s'est produite, car il écrit : « Quand je dis qu'un phénomène physique qui se passe en dehors de toute conscience est antérieur ou postérieur à un phénomène psychologique, qu'est-ce que je veux dire? » Je me demande ce que la conscience ou le phénomène psychologique ont à

voir en cette question. Peuvent-ils modifier en quoi que ce soit le phénomène? La conflagration, pour n'avoir point été vue, s'en est-elle moins produite? La planète prévue par Leverrier existait-elle moins avant qu'on l'eût observée dans un télescope? Nous n'avons aucune conscience du magnétisme terrestre, est-il pour cela moins actif? Nos sens ne nous révèlent pas le potentiel électrique d'un nuage qui passe; l'orage n'en éclate pas moins.

Ces considérations psychologiques me semblent n'avoir aucun intérêt.

*
* *

Les conséquences de la négation du temps s'étendent à toute la science, moins la géométrie. Pour qui nie le temps, le domaine de l'énergie est interdit, le principe de causalité ne peut plus exister. L'étroite connexion des notions de temps et de cause n'a pas échappé à Poincaré. « Quand, écrit-il, un phénomène nous apparaît comme la cause d'un autre, nous le regardons comme antérieur. C'est donc par la cause que nous définissons le temps; mais, le plus souvent, quand deux faits nous apparaissent comme liés par une relation constante, comment reconnaissons-nous lequel est la cause, lequel est l'effet? Nous admettons que le fait antérieur, l'antécédent, est la cause de l'autre, du conséquent. C'est alors par le temps que nous définissons la cause. Comment se tirer de cette pétition de principe? » Et Poincaré déclare plus loin qu'il est impossible de s'en tirer.

Ainsi nous serions prisonniers d'un cercle vicieux. Nous ne pouvons pas être sûrs que la cause précède l'effet, et par suite nous ne sommes pas sûrs que l'enfant est plus jeune que son père; nous

ne sommes pas sûrs de vivre après Jésus-Christ; nous ne savons pas si Mahomet est dans le passé ou dans l'avenir. Ces questions n'ont même aucun sens et les négateurs du temps ne manqueraient pas de me dire : « Que parlez-vous de passé et de futur? Ce sont là conceptions grossières de ceux qui ont la naïveté de croire au temps. Il n'y a ni présent, ni passé, ni futur; et gardez-vous bien d'en conclure que tout est simultané; le mot simultané n'a pas de sens ».

Que des métaphysiciens purs arrivent à des conceptions qui heurtent aussi violemment le sens commun, cela n'a rien d'extraordinaire. Pour qui se croit capable de tirer de soi-même les règles du monde, tout est possible.

Mais que l'expérience puisse conduire à des résultats qui sont en contradiction avec le sens commun, ce serait bien étrange, car le sens commun, quand il n'y entre pas d'éléments endogènes, est lui-même le fruit de l'expérience.

Le cercle vicieux existe-t-il réellement? Poincaré n'est-il pas un prisonnier volontaire ?

Qu'est-ce que l'expérience nous apprend? Est-ce seulement que deux phénomènes sont liés par une relation constante? Pas du tout. C'est surtout et d'abord que, de deux phénomènes, toujours l'un précède, l'autre suit. Expérimentalement, c'est l'antériorité qui frappe, c'est l'ordre qui s'impose.

La notion fournie par l'expérience est que de deux phénomènes, l'un est l'antécédent, l'autre le conséquent. Jamais, au grand jamais, l'expérience ne nous a appris qu'un phénomène est le premier parce qu'il est la cause. Elle ne peut rien nous apprendre de cette sorte.

Quand il s'agit de deux phénomènes liés par une relation constante, cause et antériorité ont le même

sens. Mais, expérimentalement, ce n'est pas la notion de cause qui a conduit à l'antériorité, c'est toujours l'antériorité qui conduit à la notion decause.

Le cercle vicieux n'existe pas en réalité. Il n'existe que pour ceux qui veulent voir dans la notion de cause autre chose que le fait expérimental de l'antériorité constante. C'est en y cherchant autre chose qu'ils constatent qu'il n'y a rien d'autre. Newton l'avait déjà affirmé, sans être conduit par là à nier le temps. Et, en effet, la conclusion relative au temps n'est pas légitime. Pour y arriver, il faut procéder comme s'il y avait là un raisonnement, — alors qu'il n'y en a pas du tout. Il n'y a qu'une constatation expérimentale et un baptême. La constatation expérimentale, c'est que l'un des deux phénomènes est toujours le premier : le baptême consiste à donner le nom de cause au premier.

Ainsi, nier le temps c'est nier l'expérience, c'est nier le principe de causalité ; c'est nier tout. Nous arrivons à la même conclusion que pour l'espace, et elle me paraît avoir assez d'importance pour y insister à nouveau. La trame de la réalité est si serrée qu'on ne peut jeter le soupçon sur aucun point sans mettre tout en question. Si le temps n'existe pas, il n'y a plus de prévisions astronomiques, il n'y a plus de machines industrielles, il n'y a plus de cause, il n'y a plus rien. Le négateur du temps n'a pas le droit de faire de la science. Il est en dehors de toute réalité : il doit logiquement aboutir au scepticisme complet.



Les considérations de M. Bergson et de Poincaré auraient peut-être une valeur s'il existait des phénomènes réversibles. Alors, de deux phénomènes liés,

le même n'occuperait pas toujours la même place. L'antériorité perdrait de sa valeur et l'on pourrait être conduit par là à douter de la réalité du temps.

Mais il n'y a pas de phénomènes réellement réversibles, et c'est là ce qui montre le plus clairement la valeur objective de la notion de temps.

Depuis que Carnot a montré ce qu'est un phénomène, la notion de temps a pris en quelque sorte une forme et un corps. Tout phénomène est une consommation de tension d'énergie. Il s'y ajoute une certaine dégradation par transformation partielle en chaleur, et pour l'énergie thermique, l'entropie. (Voir page 177.)

Toutes les fois qu'un phénomène quelconque se produit, la tension énergétique diminue. C'est pour cela que l'état séquent ne peut jamais redevenir la cause de l'état antécédent. C'est pour cela, en d'autres termes, qu'il n'y a pas de phénomènes réversibles. Les phénomènes évoluent dans un sens déterminé et c'est là ce qui caractérise le temps. Suivant l'expression banale, on ne peut en remonter le cours. Le principe de Carnot est le principe d'évolution.

Faut-il ajouter que la plupart des phénomènes molaires sont le résultat de mouvements qui se passent à l'échelle moléculaire, atomique ou électronique. Toutes les particules de la matière ont une vitesse et la vitesse est une fonction du temps.

D'autre part la théorie cinétique conduit à envisager les lois comme de simples nécessités arithmétiques. (Voir p. 314). Par là, la notion de cause prend une signification précise libérée de toute idée endogène. L'antériorité démontrée par l'expérience devient une nécessité logique.

Cl. Bernard disait que pour faire de la Science, il faut croire à la Science. Croire est un mot

qui n'a rien à faire dans les questions scientifiques. Si l'on était obligé de croire à la Science, c'est qu'elle n'existerait pas. Claude Bernard n'avait pas raffiné sur le mot; il avait voulu seulement donner une leçon à ceux qui apportent dans la science une sorte de scepticisme. C'était cependant un tort et une faiblesse de réclamer cette sorte d'adhésion volontaire.

On peut faire mieux aujourd'hui en montrant que la Science repose sur des bases solides. C'est un édifice cohérent construit non pas sur des idées endogènes, mais sur des réalités.

D'une part l'origine de l'homme garantit la valeur objective de ses sensations et des idées qui en découlent. D'autre part la théorie cinétique, solidement appuyée sur des recherches expérimentales, (voir page 310), permet de considérer les lois comme des nécessités arithmétiques d'un caractère absolu. Les phénomènes, qui tous se passent conformément à ces lois, ont pour condition une différence de tension énergétique et pour résultat une diminution de cette différence. Ainsi tout évolue dans un sens déterminé et c'est ce sens qui caractérise le temps.



D'autres philosophes, sans nier le temps, déclarent qu'on ne peut pas le mesurer. Expriment-ils par là une difficulté ou une impossibilité?

L'impossibilité ne pourrait avoir qu'une raison, l'absence d'homogénéité. Toute grandeur homogène est mesurable. Dire que le temps n'est pas mesurable, c'est dire qu'il n'est pas homogène. Mais qu'est-ce que cela peut bien signifier ?

Supposer que l'espace n'est pas homogène ou n'est pas isotrope, c'est donner une propriété à une

abstraction, c'est en faire une entité. Cette manière de procéder est le propre de la métaphysique et le contraire de la Science.

La même conclusion s'impose avec encore plus de netteté, quand il s'agit du temps. Pour supposer que le temps n'est pas homogène, c'est-à-dire qu'il va tantôt plus longtemps, tantôt plus vite, il faudrait vraiment le concevoir à la manière des poètes, comme un vieillard armé d'une faux et qui marche cahin-caha. Évidemment, ce n'est pas ainsi que les philosophes se le représentent, mais leur conception, pour être moins grossière, n'en est pas moins vicieuse, car admettre que le temps n'est pas régulier, c'est le considérer non seulement comme une force, mais comme une force capable de se modifier elle-même. Il n'est pas besoin de faire remarquer le caractère profondément antiscientifique d'une pareille conception.

Quelle est la signification objective de l'affirmation que le temps est irrégulier? Elle ne peut signifier qu'une chose, c'est que la durée du même phénomène n'est pas toujours la même. Alors, l'accélération de la chute des corps au même point change d'un moment à l'autre. La même force cinétique appliquée au même mobile ne lui imprime pas toujours la même vitesse. L'intensité d'un courant électrique produit dans les mêmes conditions n'est pas toujours la même. En un mot les forces pourraient se modifier elles-mêmes. Le principe de la permanence de l'énergie serait abrogé. Il y aurait des effets sans cause et des causes sans effet.

S'il est des métaphysiciens qui acceptent ces conséquences de la négation du temps, je n'ai rien à leur dire, personne n'a rien à leur dire. Ils sont à tel point en dehors de l'expérience que les mots qui en expriment les résultats n'ont plus de sens pour eux.

Mais il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer qu'on n'a pas le droit de nier le temps sans accepter toutes les conséquences que je viens d'indiquer.

*
* *

M. Calinon dit : « Supposer la vitesse de rotation de la terre constante, c'est supposer qu'on sait mesurer le temps ». Cette phrase est très impressionnante parce qu'on a adopté comme unité de temps un certain angle de rotation de la Terre. Elle aurait une extrême importance s'il n'y avait pas d'autre moyen de mesurer le temps, si on l'avait mesuré dès le début par la rotation de la Terre. Mais ce n'est point du tout ainsi que les choses se sont passées. Les hommes mesuraient le temps avant de savoir que la Terre tourne, et avant de choisir comme unité le temps qu'elle met à tourner d'un certain angle autour de son axe, ils ont cherché à s'assurer que son mouvement de rotation est uniforme.

En somme, la rotation de la Terre est un phénomène beaucoup trop complexe pour qu'on ait pu s'en servir d'abord comme moyen de mesurer le temps. Il est parfaitement vrai que pour affirmer que la rotation de la Terre est constante, il faut d'abord savoir mesurer le temps. Mais il ne résulte nullement de là qu'on ne peut pas le mesurer.

C'est par des phénomènes plus simples qu'on l'a mesuré. On s'est servi d'abord du sablier, de la clepsydre, le déterminisme de la chute du sable ou de l'eau semblant pouvoir être très exactement réglé. Ceux qui se sont servis du sablier pour la première fois, il y a bien longtemps, avaient déjà l'esprit scientifique. L'expérience leur avait appris que deux phénomènes identiques ont la même durée.

Les oscillations du pendule sont plus précises. On peut dire avec Poincaré [1] : Vous mesurez le temps avec un pendule, mais êtes-vous sûr de tenir compte des modifications que la température, la résistance de l'air, la pression barométrique, l'état électrique ou magnétique apportent à la marche du pendule? Je fais remarquer qu'il n'est plus question ici d'impossibilité de mesurer le temps, mais seulement de difficultés pratiques. C'est une question d'un tout autre ordre. Je n'ai point à dire ici avec quelle ingéniosité des savants et des ingénieurs se sont appliqués à construire des pendules qui ne varient pas.

* * *

Mais il est des esprits qu'aucun instrument ne peut satisfaire, car, pour eux, l'impossibilité de mesurer le temps vient de l'impossibilité de superposer deux durées. C'est bien en superposant deux longueurs que l'on constate qu'elles sont égales ou inégales. Mais de quel droit exige-t-on que la superposition, procédé de mesure spécial à l'espace, s'applique aussi au temps? L'impossibilité de la superposition prouve justement que la notion de temps n'est pas réductible à la notion d'espace.

Peut-on tourner la difficulté ? On peut bien régler deux pendules de même longueur, de façon que leurs oscillations soient exactement synchrones. Les oscillations se superposeront, mais elles se superposeront dans l'espace et non dans le temps. C'est la même durée que chacun de leurs battements mesurera : il n'y aura pas superposition de temps.

La superposition optique est irréalisable. Supposons deux pendules réglés de manière à battre la seconde. Pour qu'on les vît en même temps battre

deux secondes différentes, il faudrait qu'ils fussent éloignés l'un de l'autre de la distance franchie en une seconde par la lumière, c'est-à-dire de 300.000 kilomètres. Les deux pendules ne pourraient donc être visibles pour le même observateur.

Mais on pourrait réaliser une superposition à la fois auditive et optique. En prenant deux balanciers d'horloge battant exactement la seconde, en les plaçant à $331^{m},10$ (distance que le son franchit dans l'air en une seconde à 0 degré) et en les mettant en mouvement, de façon qu'ils soient exactement synchrones, l'observateur placé près de l'un d'eux les verrait, et entendrait leur tic tac. Le phénomène optique et le phénomène visuel seraient synchrones. Mais tandis que l'observateur verrait les battements des deux pendules correspondant à la même durée, il entendrait les tic tac correspondant à deux durées différentes. Le battement antécédent du pendule éloigné se superposerait exactement au battement actuel du pendule proche. On aurait ainsi superposé auditivement deux secondes différentes.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer qu'aucune hypothèse n'intervient dans cette expérience. Elle peut être réalisée par un parfait ignorant. Il n'est pas nécessaire que les pendules battent la seconde ni de savoir la vitesse du son. Il suffit de prendre deux pendules dont les oscillations sont de même durée, puis de chercher par tâtonnement la distance où il faut les placer pour qu'un observateur placé près de l'un d'eux entende simultanément les tic tac. Lorsque cette distance sera trouvée, l'observateur entendra des tic tac simultanés correspondant à des durées différentes. Il aura réalisé la superposition auditive de deux durées.

Je m'empresse d'ajouter que cette petite expérience n'aurait d'intérêt que pour les philosophes

sceptiques : elle n'en aurait aucun pour les physiciens. Ceux-ci ne doutent pas qu'on sache mesurer le temps d'une manière satisfaisante et l'admirable précision des prévisions astronomiques suffit à le prouver.

*
* *

Quant au choix de l'unité de mesure, il a une très grande importance pratique, mais il n'en a aucune au point de vue philosophique. De même que l'unité de longueur ne modifie pas une distance, l'unité de temps ne change rien au temps. Une mesure n'a aucune influence sur la réalité. On peut mesurer le temps avec n'importe quelle pendule pourvu que son mouvement soit uniforme. Les nombres par lesquels on représente une durée varient avec l'unité choisie; mais quelle que soit cette unité, pourvu qu'on se serve toujours de la même, les calculs sont valables et les lois, n'étant que des rapports, sont vérifiées. Ce n'est pas le choix de l'unité qui conduit à cette vérification, c'est simplement le fait qu'on garde toujours la même.

En somme, le temps est mesurable et nous savons le mesurer d'une manière suffisante pour qu'il fournisse une base solide à la Science.

CHAPITRE V

L'Énergie.

SOMMAIRE. — Equivalence des énergies. — Les deux principes de l'énergétique. — Quantité et tension. — Relations de l'énergie et de la matière. — Comparaison avec les solutions.

L'essence du phénomène. — Importance de la tension. – Rendement. — Encombrement de l'énergie par la matière. — Entropie. — Ses conséquences. — Evolution vers l'homogénéité.

Matière et énergie. — Métaphysique et paraphysique. — Doctrine énergétique exclusive. — Ses vices.

L'énergie n'a pas donné lieu aux mêmes discussions que l'espace et le temps. On ne nie pas son existence, tout simplement sans doute parce qu'elle est de connaissance plus récente.

Les discussions ont pris une autre forme : elles portent sur la dualité ou l'unité de l'énergie et de la matière, et depuis quelques années c'est toujours la matière qui reçoit les horions. Les énergétistes ont remplacé les matérialistes. Le matérialisme s'est en quelque sorte spiritualisé.

Les notions acquises sur l'énergie ont une très grande importance philosophique et c'est à ce point de vue que je dois en dire quelques mots.

En 1826, à l'âge de vingt-huit ans, Sadi Carnot, dans un court mémoire sur la puissance motrice du feu, établit cette notion fondamentale que pour tirer

du travail de la chaleur, il faut une différence de température. C'est en passant d'une *source* chaude à une *source* froide — pour employer ses expressions — que la chaleur produit du mouvement. C'est là ce qu'on appelle le principe de Carnot ou second principe de la thermodynamique, bien qu'il soit le premier en date.

Carnot fut emporté par le choléra en 1832. Les notes qu'il a laissées et qui ont été publiées par son frère montrent que son génie avait été beaucoup plus loin et qu'il avait découvert également le premier principe. Robert Mayer y est arrivé de son côté et j'ai déjà dit qu'il l'a publié en 1842.

Ce premier principe établit l'équivalence du mouvement et de la chaleur. La quantité de chaleur qui sort d'une machine à feu n'est pas égale à celle qui y entre. Le mouvement produit est dû à sa transformation. Il y a donc disparition de chaleur en même temps qu'apparition de mouvement. Une calorie disparue équivaut à 425 kilogrammètres produits. C'est là l'équivalence mécanique de la chaleur.

Si la chaleur, en disparaissant, produit du mouvement, inversement, le mouvement, en disparaissant, est capable de produire de la chaleur. La chaleur se transforme en mouvement : le mouvement se transforme en chaleur; c'est le premier principe de la thermodynamique.

Ce principe est d'une portée beaucoup plus générale. Il s'applique non seulement à l'énergie cinétique et à l'énergie thermique, mais à toutes les formes d'énergie. L'énergie électrique se transforme également en chaleur et en mouvement. Le mouvement se transforme en électricité comme en chaleur. Toutes les énergies sont interchangeables et toutes les transformations s'effectuent suivant des rapports

constants, si bien que la quantité d'énergie reste toujours la même.

Ainsi, les énergies thermique, cinétique, électrique, magnétique, chimique apparaissent comme les modalités diverses d'une même puissance, l'énergie.

L'énergie se présente alors avec les apparences d'une entité métaphysique. Ce serait une grosse erreur philosophique de la considérer comme telle. C'est l'expérience qui a conduit à la concevoir. Il n'entre dans sa conception aucune idée endogène. On la mesure, on l'exprime par des nombres. Ce n'est point une sorte de divinité que le savant dans l'embarras appelle à son aide pour expliquer ce qu'il ne comprend pas. Il doit au contraire se conformer à ses lois. Ce n'est pas un mot dont on habille l'ignorance. C'est une réalité mesurable. Elle est un objet de commerce. On vend de l'énergie cinétique; on vend de l'énergie électrique.

Le premier principe, par l'équivalence réciproque de toutes les modalités de l'énergie, conduit à la notion de permanence de l'énergie. C'est le principe de conservatisme. La quantité d'énergie est invariante.

Le second principe nous apprend au contraire en quoi consiste la phénoménalité. C'est le principe d'évolution. Tout phénomène consiste en une modification énergétique.



Comment l'énergie, invariante en quantité, se modifie-t-elle pour produire des phénomènes?

Les diverses modalités de l'énergie présentent deux qualités différentes, la quantité et la tension.

La tension, c'est la température pour la chaleur, la vitesse pour l'énergie cinétique, la hauteur pour

l'énergie gravifique, le voltage pour l'énergie électrique.

Tout phénomène est dû à une diminution de tension énergétique avec ou sans transformation.

Par les modifications de tension, l'énergie agit sans que sa quantité se modifie.

L'expérience la plus grossière montre que les tensions ne s'ajoutent pas. Si on mêle deux litres d'eau à cent mètres de hauteur, ils ne s'élèvent pas à deux cents mètres. Deux mobiles accouplés ayant chacun une vitesse de cent kilomètres conservent cette même vitesse. Si on mêle deux litres d'eau à 50°, le mélange reste à 50°. Les tensions présentent donc ce caractère particulier de ne pas être additives. Elles se comportent comme le taux d'une solution.

Tout le monde sait, d'autre part, qu'il faut plus de chaleur pour chauffer deux litres d'eau à 50° que pour en chauffer un. De même, il faut plus de soluble pour faire deux litres de solution au même taux que pour en faire un. On sait encore qu'il faut plus de chaleur pour élever un litre d'eau à 60° que pour l'élever à 30°, de même qu'il faut plus de soluble pour faire un litre de solution à 60 °/₀ que pour faire un litre à 30 °/₀.

On détermine la quantité du solvant contenu dans une solution en multipliant le taux de la solution par la masse du soluble. De même la quantité d'énergie est une fonction de la tension et du facteur matériel. Cette fonction n'est pas la même pour toutes les énergies. Pour une même substance, les quantités d'énergie thermique sont proportionnelles à la tension et à la masse. Mais la capacité calorifique varie avec les corps, de sorte que si on envisage des corps différents, il faut faire intervenir un autre facteur, la chaleur spécifique.

Pour l'énergie cinétique, la fonction est un peu plus compliquée : c'est $\frac{1}{2}mv^2$, mais elle comprend les mêmes éléments, masse et tension.

Avec la même quantité d'un soluble, on ne peut faire varier le taux de la solution qu'en modifiant la masse du solvant. De même, avec une certaine quantité d'énergie, la tension ne peut varier que si la masse varie, et les variations des deux facteurs sont inverses, l'un augmente quand l'autre diminue.

Ainsi les trois termes, quantité d'énergie, tension énergétique, masse matérielle sont associés de telle sorte que si deux d'entre eux sont déterminés, le troisième l'est également.

Une quantité déterminée d'énergie cinétique imprime à une masse mobile une vitesse déterminée. Pour que la quantité d'énergie puisse augmenter, il faut que la vitesse ou la masse augmente. Quel que soit le corps considéré, il n'y a pas à faire intervenir ici de nombre représentant un facteur de l'ordre de la chaleur spécifique ou de la solubilité, parce que l'inertie, qui est pour l'énergie cinétique le facteur comparable à la chaleur spécifique, a la même mesure que la masse.

Une quantité déterminée d'énergie thermique donne à une masse déterminée d'un corps une température déterminée. Pour que la quantité d'énergie devienne plus considérable, il faut que la température monte. Mais si l'on envisage des corps différents, la température ne dépend plus seulement de la masse considérée, elle dépend aussi de sa capacité calorifique ou chaleur spécifique.

On voit qu'il existe pour toutes les modalités de l'énergie une fonction $\frac{Q}{T}$ dans laquelle Q représente

la quantité d'énergie et T la tension. Cette fonction mesure le facteur matériel.

Si on divise la quantité d'énergie cinétique par le carré de la vitesse, le quotient obtenu représente la masse du mobile.

Si pour une même substance on divise la quantité d'énergie thermique par la température, le quotient représente, à un facteur constant près, la masse du corps considéré. Je répète que si la substance change, il faut faire intervenir la chaleur spécifique.

Si on divise la quantité d'énergie électrique, c'est-à-dire la charge, par la tension (c'est-à-dire le voltage), on trouve non pas la masse, mais la surface du conducteur supposé sphérique.

Ces différences entre les diverses modalités de l'énergie montrent qu'elles n'ont pas le même mode de liaison avec la matière, ou sous une autre forme que les phénomènes cinétiques, thermiques, électriques n'ont pas pour siège les mêmes éléments de la matière. Ces éléments sont la masse molaire, les molécules, les atomes, les électrons. On peut donc dire que les divers phénomènes énergétiques ne se passent pas à la même échelle, mais je laisse de côté cette question.

Ce que j'ai voulu montrer, c'est que la fonction $\frac{Q}{T}$ est commune à toutes les énergies. Quelle que soit l'énergie considérée, elle représente le facteur matériel, ou, comme dit Le Dantec, pour la chaleur, l'encombrement matériel. Nous retrouverons tout à l'heure cette notion générale.

***

Le principe de Carnot nous apprend en quoi consiste un phénomène et les conditions nécessaires à

sa production. Un phénomène est une chute de tension énergétique. Aucun phénomène ne peut se produire s'il n'existe une différence de tension.

Deux systèmes ayant la même tension énergétique ne peuvent rien l'un sur l'autre. Il faut bien remarquer que ces deux systèmes peuvent renfermer des quantités d'énergie très différentes.

Mille mètres cubes d'eau élevés à 100 mètres peuvent produire un travail de 100.000 kilogrammètres. Un mètre cube d'eau à la même hauteur ne peut produire que 100 kilogrammètres. La quantité d'énergie de l'un des systèmes est mille fois plus grande que celle de l'autre. Cependant ils ne peuvent rien l'un sur l'autre.

Cent litres d'eau à 60° ne peuvent rien sur 1 litre à la même température.

Un mobile de masse énorme ne peut rien sur un grain de poussière animé de la même vitesse que lui.

Deux conducteurs portant des charges électriques très différentes ne peuvent rien l'un sur l'autre si leur voltage est le même.

La tension a donc une importance particulière.

Voyons si cette importance est la même pour les diverses modalités de l'énergie.

Pour qu'un phénomène commence, la nécessite d'une différence de tension est aussi impérieuse avec toutes les énergies. Mais au point de vue du commencement, il y a une différence très grande entre les diverses modalités de l'énergie.

L'énergie cinétique n'existe qu'à l'état manifeste. Il ne peut exister d'énergie cinétique à l'état d'immobilité. Immobilisée, elle est supprimée en tant qu'énergie cinétique; elle est transformée en une autre forme d'énergie. Un mouvement molaire ne peut commencer que par une transformation d'énergie.

L'énergie gravifique peut être aisément conservée à l'état potentiel. C'est un très bon placement énergétique qu'une masse d'eau maintenue dans un réservoir à une certaine hauteur ou qu'un poids attaché à une corde.

Qu'est-ce qui empêche l'énergie gravifique de se manifester en se transformant en mouvement de chute? C'est la résistance du réservoir, c'est la résistance de la corde. En s'exprimant ainsi, on se fait illusion : on constate, on n'explique pas. La résistance des corps est due à l'attraction des éléments de la matière les uns sur les autres. Ce sont toujours des énergies moléculaires ou atomiques qui empêchent l'énergie gravifique de se manifester. Elle est équilibrée[1] par une autre énergie et elle peut rester indéfiniment à l'état potentiel.

L'énergie chimique est particulièrement attachée à la matière. Elle peut persister indéfiniment à l'état potentiel ou virtuel. Il faut des conditions spéciales pour la libérer et lui permettre de se transformer en énergie thermique, électrique ou cinétique. Le charbon est la grande source d'énergie utilisée par l'humanité. On sait d'ailleurs que l'énergie incluse dans le charbon n'est que de l'énergie solaire transformée.

En somme, ces énergies ne sont pas diffusibles. Elles peuvent être conservées avec leur tension.

Il n'en est pas de même pour l'énergie thermique. Il n'y a pas d'équilibre possible pour deux températures différentes. On peut équilibrer deux masses

1. Le mot « équilibre » est habituellement employé pour désigner un état tel que la plus petite perturbation y amène un changement. Je l'emploie ici dans un sens différent, faute d'un autre mot qui s'applique vraiment aux états dont je parle, et pour éviter d'employer le mot « repos » auquel son origine endogène donne une signification choquante.

à des hauteurs différentes. On ne peut pas équilibrer deux masses à des températures différentes. La chaleur diffuse sans cesse, passant toujours sans qu'on puisse l'en empêcher des corps plus chauds aux corps moins chauds. Il n'y a pour la chaleur d'équilibre possible que sous la même tension, c'est-à-dire à la même température. Ainsi l'énergie thermique perd toujours de sa tension.

Voyons maintenant l'importance de la tension au point de vue du travail que peut produire une énergie. Cette question du rendement ne peut guère être étudiée que dans les machines industrielles. Dans la nature, les phénomènes sont beaucoup trop complexes. Comment étudier par exemple le rendement du Soleil alors qu'on ne sait même pas à quel phénomène est due sa chaleur? Comment étudier le rendement de l'évaporation des océans? Comment suivre la vapeur dans la haute atmosphère, sa condensation où l'électricité intervient, le transport du nuage par le vent, sa précipitation?

Les machines industrielles sont comme celles des laboratoires : elles permettent des expériences et sur une plus vaste échelle.

Théoriquement un poids de 1 kilogramme élevé à 10 mètres peut par sa chute monter à la même hauteur un autre poids de 1 kilogramme. Pratiquement ce résultat ne peut être obtenu par aucun moyen. S'il était réalisable, le mouvement perpétuel serait possible. Deux poids égaux pourraient s'élever l'un l'autre alternativement et indéfiniment.

On ne peut transmettre l'énergie du poids qui est en haut à celui qui est en bas, sans qu'il se produise des frottements. Une partie de l'énergie est employée à les vaincre et se transforme en chaleur.

Supposons deux poids égaux attachés aux deux bouts d'une ficelle qui se réfléchit sur une poulie.

Des deux poids l'un est plus haut que l'autre. Est-ce que le mouvement commencéra? En aucune façon. Tout le monde sait que dans la machine d'Atwood, où les frottements sont réduits au minimum, il faut cependant mettre une surcharge sur l'un des poids pour que le mouvement commence.

Quand on laisse tomber un poids en chute libre, il acquiert une certaine énergie cinétique qui à la fin de sa chute est égale à l'énergie qui a été utilisée pour l'élever. Si on veut utiliser son énergie cinétique pour élever un autre corps, une certaine quantité sera inévitablement perdue en frottements. Si on veut s'en servir pour produire de la chaleur, une certaine quantité produira une déformation et ne se transformera pas en chaleur. En recevant le mobile dans une masse gazeuse, on arriverait à supprimer la déformation, mais non les frottements.

Quand il s'agit de masses d'eau élevées à une certaine hauteur, le problème est complexe, et le rôle de la hauteur, c'est-à-dire de la tension, est difficile à apprécier. Si la hauteur est très considérable, on est obligé d'emprisonner la chute dans des tuyaux, les frottements jouent alors un grand rôle. La différence de tension est toujours nécessaire, mais on comprend qu'il n'y a pas toujours avantage à ce que cette différence soit très considérable.

Dans tous ces cas d'ailleurs, le rendement reste très élevé et très voisin de 100 °/₀.

Avec l'énergie thermique, il en est tout autrement. Étant donnée une quantité d'énergie thermique, la partie qui peut être transformée en mouvement par une machine idéale est mesurée par la différence des deux températures entre lesquelles elle travaille divisée par la température absolue maxima. Cette fonction s'écrit $\frac{T - t}{T + 273}$,

T désignant la température maxima, t la température minima, les deux en degrés centigrades.

Cette fonction montre d'abord que la quantité de chaleur qui peut être transformée en mouvement n'est jamais qu'une petite fraction de la quantité totale.

Il faut bien comprendre ce que cela veut dire. La partie qui se transforme en mouvement se transforme honnêtement, si l'on peut ainsi parler, c'est-à-dire qu'une calorie produit toujours en se transformant 425 kilogrammètres. S'il en était autrement, le principe de l'équivalence ne serait pas vrai. Mais une grande partie des calories s'échappent par conduction, par convection, par rayonnement sans qu'on puisse s'opposer à leur exode. Elles vont échauffer les pièces de la machine, l'ambiance sans qu'il soit possible de les canaliser vers la transformation en mouvement.

D'autre part il est facile de voir que dans la fonction précédente, la température minima restant la même, le numérateur grandit plus vite que le dénominateur quand la température maxima augmente. Pour une même quantité d'énergie thermique, la température a donc une importance particulière. La tension joue un plus grand rôle dans l'énergie thermique que dans les autres formes d'énergie. La fonction $\frac{Q}{T}$ prend une importance spéciale. Elle mesure toujours l'encombrement matériel, mais cet encombrement diminue d'une manière bien plus considérable la valeur énergétique[1].

Un exemple très simple, que je rappelle après Le

1. J'évite d'employer l'expression « valeur de transformation » parce qu'il me semble que Clausius d'une part, Brunhes de l'autre s'en sont servi dans des sens différents.

Dantec, montre bien l'importance de l'encombrement matériel pour l'énergie thermique. Si l'on reçoit un faisceau de chaleur rayonnante sur un miroir concave d'un mètre carré d'ouverture, on peut le concentrer au foyer du miroir et enflammer là un morceau d'amadou. Si au contraire on reçoit le même faisceau sur un mètre carré d'amadou, on l'échauffera seulement de quelques degrés. A partir du moment où la chaleur sera emcombrée par le substratum matériel de l'amadou, non seulement il n'y aura plus aucun moyen déla concentrer, mais quoi que l'on fasse, en rayonnant, en diffusant, elle perdra sans cesse de sa température.

Ainsi l'étude des faits révèle deux phénomènes qui sont d'ailleurs connexes et dus à la diffusion. 1° A tout instant un système thermique perd de sa tension. 2° Cette perte de tension diminue sa valeur d'utilisation d'une manière très considérable.



La notion d'entropie découle de cette double constatation. Elle est considérée comme tellement abstraite qu'elle paraît inaccessible à bien des gens cultivés. Cela tient sans doute à ce que Clausius y a été conduit par des travaux analytiques. On s'imagine qu'il faut être un grand mathématicien pour la comprendre. D'ailleurs, si j'en crois Ostwald, Clausius ne semble pas y avoir vu autre chose qu'une fonction analytique. Un mathématicien peut très bien ne pas se demander à quoi correspond sous forme concrète une fonction qu'il a trouvée, et, même s'il ne pouvait se servir d'une fonction sans se demander ce qu'elle représente, il lui serait bien difficile d'utiliser les mathématiques. Une des raisons de la puissance des mathématiques, c'est

qu'elles débarrassent des impedimenta concrets. Mais quand il s'agit d'applications philosophiques, il devient très fâcheux de ne pas chercher ce que représentent les symboles.

En réalité la notion d'entropie n'a rien de mystérieux ni même d'obscur. Mais le mot entropie est troublant. Il semble bien qu'on s'en soit servi souvent comme synonyme de la fonction $\frac{Q}{T}$. Or, la fonction $\frac{Q}{T}$ ne représente pas l'entropie.

Un système thermique, en raison de la diffusibilité de la chaleur, est comparable à un malade qui s'affaiblit. C'est l'affaiblissement énergétique du système qui constitue l'entropie. Cet affaiblissement est mesuré par l'augmentation inévitable de la valeur numérique de la fonction $\frac{Q}{T}$, puisque cette fonction représente l'encombrement matériel de l'énergie et que c'est l'encombrement qui est cause de l'affaiblissement. Aussi, quand on dit que l'entropie augmente, on exprime le fait que la valeur du système diminue, comme en disant que l'affaiblissement d'un malade augmente on exprime le fait que sa résistance diminue.

On dit d'un malade qu'il s'affaiblit ; on pourrait dire d'un système thermique qu'il s'entropie. On dit d'un malade qu'il est affaibli, on pourrait dire d'un système thermique qu'il est entropié. Mais il ne faut pas oublier que ces mots expriment une comparaison entre l'état actuel et les états antécédents. Il semble qu'on l'oublie parfois, et que l'on parle de l'entropie d'un système à un moment donné. C'est un vice de langage.

A un instant déterminé, il n'y a pas d'entropie.

Si l'on emploie ce mot, il ne peut représenter que la fonction $\frac{Q}{T}$, c'est-à-dire l'encombrement matériel, ou sous une autre forme la valeur énergétique du système. Or, ce n'est pas là l'entropie.

L'entropie est un changement, une modification, c'est l'augmentation de l'encombrement matériel, ou, ce qui revient au même, la diminution de la valeur énergétique. Pour qu'elle se produise, il faut que le temps intervienne, c'est une fonction de la durée. Elle est liée non pas à la quantité de chaleur, mais aux quantités de chaleur mises en jeu. Elle se produit toujours parce que le temps met inéluctablement la chaleur en jeu, c'est-à-dire parce que la chaleur est diffusible.

Elle ne peut pas être représentée par une fonction de type $\frac{Q}{T}$, puisqu'une fonction de ce type représente une constatation faite à un moment déterminé. Elle ne peut être représentée que par une fonction du type $\int \frac{\Delta Q}{T}$, dans laquelle ΔQ représente la quantité de chaleur mise en jeu.

Qu'on me permette encore quelques comparaisons. Considérons une certaine quantité d'un sel déliquescent, du chlorure de sodium par exemple placé dans une atmosphère humide. On peut parfaitement dire que ce système aura une entropie. Le chlorure de sodium va fixer de l'eau, il va s'encombrer d'eau. Si l'on prend du sel humide le même poids qui en sel sec aurait suffi à saler un potage, la cuisine sera fade. Il y a cependant une grande différence avec ce qui se passe pour la chaleur. Si l'on prend du sel humide une quantité contenant le poids de chlorure de sodium qui est

nécessaire pour saler le potage, on obtiendra à peu près le résultat cherché. Avec un système thermique entropié, encombré de matière, on ne peut plus obtenir le même résultat qu'avec la même quantité de chaleur moins entropiée, moins encombrée de matière.

Un bocal contenant de l'alcool absolu placé sous un robinet qui laisse tomber de l'eau goutte à goutte forme encore un système qui va s'entropier. A chaque goutte qui tombe, l'encombrement matériel de l'alcool par l'eau augmente. Et l'effet du temps sur ce système est très comparable à l'effet du temps sur un système thermique, car l'alcool à 50, à 60, ou même à 90 degrés ne permet pas tout ce que permet l'alcool absolu.

Ainsi un système thermique se comporte comme une solution qui se dilue sans cesse inévitablement.

Au sujet de l'encombrement par la matière de l'énergie thermique, une objection se présente à l'esprit. Bien qu'elle soit spécieuse, il faut l'envisager pour ne laisser aucune obscurité.

Supposons un système thermique parfaitement isolé, bien qu'un tel système soit irréalisable. La quantité de matière et la quantité d'énergie thermique restent invariables. Comment va se produire l'encombrement matériel ?

Si ce système est homogène au point de vue thermique, si toutes ses parties sont à la même température, il ne s'y passera rien du tout; il ne s'entropiera pas s'il est parfaitement isolé, ce qui, je le répète, est impossible.

Mais s'il existe dans le système des différences de température, s'il est hétérogène, l'homogénéité va s'établir. La chaleur va se libérer des parties chaudes pour échauffer les parties froides ; il y

aura des quantités de chaleur mises en jeu et l'intégrale $\int \frac{\Delta Q}{T}$ mesurera l'entropie. Plus simplement, nous savons que tout phénomène d'échauffement entraîne une diminution de tension.

On peut concevoir un système non thermique, parfaitement isolé celui-là, et qui sera le siège de phénomènes dont le résultat sera tout à fait comparable à l'entropie.

Supposons une grande cuve bien close séparée en nombreux compartiments parallèles par des cloisons étanches. Le compartiment n° 1 contient de l'alcool absolu, le compartiment n° 2 contient de l'alcool à 95°, le compartiment n° 3 de l'alcool à 90°, etc., et le dernier compartiment contient de l'eau pure. Ce système est comparable à une barre métallique dont une extrémité serait à 100° tandis que l'autre serait plongée dans de la glace fondante. Mais pour l'énergie thermique, il n'existe pas de cloisons étanches. Brisons celles de la cuve. L'alcool va diffuser comme la chaleur dans la barre métallique. Au bout d'un certain temps, l'homogénéité sera établie. Il n'y aura plus ni alcool absolu, ni eau pure, mais une solution d'alcool dans l'eau. La quantité d'alcool n'aura pas changé, la quantité d'eau non plus, mais tout l'alcool sera encombré par l'eau. Le système sera entropié, il aura perdu une grande partie de sa valeur.

L'entropie prend une importance générale pour deux raisons. Quand une énergie produit du travail, toujours elle se transforme partiellement en chaleur. Tous les mouvements s'accompagnent de frottements qui échauffent le mobile lui-même ou les appareils de transmission. Un courant électrique échauffe le fil qu'il traverse. Dans tout phénomène,

une partie de l'énergie mise en jeu se dégrade en passant à l'état thermique.

D'autre part, la chaleur est l'intermédiaire habituel entre les diverses modalités de l'énergie. L'énergie du soleil nous arrive en grande partie sous forme de chaleur et se retransforme sur la terre en énergie mécanique ou chimique.

Dans les machines à feu, l'énergie chimique, libérée par la combustion, échauffe des gaz ou des vapeurs dont la pression augmentée produit le mouvement.

Ainsi la chaleur apparaît comme une sorte de courtier honnête, mais maladroit. Il conserve intact le capital qui lui est confié, mais le met sous un état où il ne peut plus rendre les mêmes services. Quand on lui confie une valeur qui rapporte près de 100 °/₀, il la restitue intacte en quantité, mais ne rapportant plus que 5 °/₀. La tension comparable à l'intérêt d'une somme d'argent a diminué dans une énorme proportion.

On peut encore comparer grossièrement l'énergie thermique à un enfant à qui on confie une poignée de poudre. En l'emportant il la laisse glisser entre ses doigts et elle se mêle à la poussière de la route. La quantité de poudre n'a pas changé, mais elle n'est plus utilisable.

*
* *

Tout phénomène laisse une trace indélébile, une diminution de la tension énergétique. Ainsi l'énergie, sans diminuer de quantité, perd sans cesse de sa tension; elle tend à s'uniformiser. Quand l'uniformité sera réalisée, si jamais elle doit se réaliser, aucun phénomène ne pourra se produire. La quantité d'énergie n'aura pas changé, mais elle sera comme si elle n'était pas. Le monde mourra de

misère dans l'opulence. Il sera dans la même situation qu'un capitaliste qui aurait une immense fortune en actions qui ne rapportent rien.

Existe-t-il dans le monde des tenseurs d'énergie, des restaurateurs d'intensité énergétique ?

Quand deux astres se rencontrent, par leur choc formidable une grande partie de leur force vive se transforme en chaleur. Une étoile s'allume, une *nova*, avec un potentiel énergétique qui lui donne une vie particulière pour des années ou des siècles. Il se produit une restauration d'énergie thermique, mais le bénéfice pour l'univers est nul.

L'activité humaine consiste essentiellement à transformer les énergies et à élever leur tension. C'est le but de toutes nos machines. L'avantage pour l'humanité est immense, mais, au point de vue de la planète, l'ensemble des transformations artificiellement produites se chiffre par une diminution de tension ou, si l'on préfère, par une augmentation d'entropie, de telle sorte que si le travail humain avait assez d'importance pour compter dans le budget de la terre, il ne pourrait que hâter sa ruine.

Les êtres vivants par l'assimilation conquièrent non seulement de la matière, mais de l'énergie extérieure. La substance vivante est un accumulateur et un transformateur d'énergie. Le bénéfice est pour elle seule ; les phénomènes successifs dont elle est le siège se chiffrent encore par une perte pour l'ensemble.

La diminution de tension énergétique augmente inévitablement. C'est de cette notion qu'on s'est servi pour prédire l'avenir du monde.

*
* *

Dans les quelques considérations qui précèdent, il a été question sans cesse des rapports de l'énergie

et de la matière. Ces notions sont si connexes qu'on ne peut envisager l'une sans l'autre. Quand on veut parler de l'énergie de la manière la plus abstraite, c'est-à-dire dans le langage mathématique, on est conduit à des fonctions du type $\frac{Q}{T}$, fonctions qui représentent, nous l'avons vu, l'élément matériel.

On comprend qu'on ait été amené à se demander si les deux notions d'énergie et de matière doivent être dissociées ou confondues.

Les dualistes admettent qu'il existe deux mondes distincts, celui de l'énergie et celui de la matière.

D'autres pensent qu'il n'y en a qu'un, mais ce n'est pas le même pour tous. Pour les uns c'est la matière; pour les autres c'est l'énergie. Ostwald déclare « que la notion de matière est une notion subordonnée, et une notion qui n'est même pas particulièrement heureuse ». Il expose que si on fait abstraction de toutes les énergies il ne reste rien, et il en conclut que la matière n'existe pas. Mais le matérialiste peut répondre que, comme on n'a jamais vu d'énergie se manifester sans substratum matériel, il est tout aussi juste de dire que si on fait abstraction de toute matière, il n'y a plus d'énergie, ce qui conduit à la conclusion inverse que l'énergie n'existe pas.

Ces deux manières de raisonner ont le même vice, qui est de pousser l'abstraction au delà de ses limites légitimes. L'une arrive à une conclusion en quelque sorte spiritualiste, l'autre a une conclusion matérialiste, mais toutes les deux sont également métaphysiques.

D'ailleurs, l'énergétiste pur, le matérialiste pur, sont obligés l'un et l'autre de réintroduire, le premier la matière, le second l'énergie.

« Si, dit Ostwald, on rend successivement à

l'énergie les composants qui lui reviennent, la notion de matière se dissout de plus en plus, et les grandeurs restantes se trouvent être les facteurs d'extensité des énergies présentes. »

Ainsi, la masse est pour lui le facteur d'extensité de l'énergie de mouvement. Il faut avoir une bien singulière confiance dans la vertu des mots pour s'imaginer qu'on a changé quelque chose en appelant la masse le facteur d'extensité de l'énergie de mouvement. Les choses ne sont pas plus modifiées que si, dans la notation algébrique, on remplaçait le signe conventionnel, qui représente la masse M, par un autre symbole quelconque.

Et ce qui résulte des constatations d'Ostwald, c'est que le plus pur énergétiste ne peut parler de l'énergie sans faire intervenir un autre facteur qui n'est pas de l'énergie. Qu'on l'appelle matière ou facteur d'extensité, cela n'a aucune espèce d'importance pour qui ne se paye pas de mots.

Qu'est-ce que l'observation nous apprend ? En certains points de l'espace se trouvent réunies l'inertie, l'énergie de gravitation, l'énergie thermique, l'énergie chimique. De ces points les uns ont le caractère des gaz, d'autres ceux des solides, d'autres ceux des liquides. Il est parfaitement légitime de faire abstraction des caractères variables pour envisager ceux qui sont constants. Leur étroite association autorise à considérer les points qu'ils occupent comme différents de ceux où ils n'existent pas. Sans faire aucune hypothèse, nous avons le droit d'appeler ces points des points matériels.

Mais si les manifestations de l'énergie n'apparaissent jamais que dans les points matériels, certaines de ces manifestations se transmettent au travers des espaces intersidéraux dépourvus de matière. La lumière des étoiles, la force gravifique

cheminent, véhiculées par l'éther qui n'a pas de masse. L'énergie manifestée au niveau d'un point matériel peut donc se transmettre sans matière. Dans l'état actuel de la science, le matérialiste n'a pas le droit de parler de la lumière, ni de la gravitation.

Mais il ne faudrait pas s'imaginer que si l'on n'est pas matérialiste, on est forcément spiritualiste. Ces deux tendances, que l'on a l'habitude d'opposer, me semblent, au contraire, relever de la même mentalité. Nier l'énergie et nier la matière, c'est également faire de la métaphysique. En biologie, quand on découvre une fonction nouvelle, nous voyons les deux tendances se manifester. Les uns considèrent cette fonction comme une entité indépendante de tout substratum ; les autres imaginent et baptisent une substance dont le seul rôle est de remplir ladite fonction. Ces deux opérations mentales sont superposables. Les premiers font de la métaphysique spiritualiste ; les seconds font de la métaphysique matérialiste ou, si l'on veut, de la paraphysique.

La métaphysique et la paraphysique ont le même vice. Elles sont faites de conceptions qui ne dérivent pas de l'expérience et qui ne peuvent pas lui être soumises.

L'état d'esprit scientifique consiste à étudier en même temps les manifestations énergétiques et les états de la matière auxquels elles sont liées.

C'est à quoi s'oppose la doctrine énergétique exclusive. Sous cette forme elle n'est plus qu'une sorte de spiritualisme exposé en langage mathématique. Elle a ceci d'étrange qu'elle réunit l'orientation métaphysique et l'orientation positiviste dans ce qu'elle a de fâcheux.

Voici en quoi consiste la tendance métaphysique. Toutes les propriétés deviennent des énergies. Les corps solides ont une forme, celle-ci est attribuée à

l'énergie de forme. Ils occupent une certaine place; ceci est attribué à une énergie de volume. Les énergies ainsi conçues correspondent aux entités des scolastiques. Les difficultés sont simplifiées. Quand on est dans l'embarras, on peut toujours invoquer des énergies. Leur nombre augmente comme celui des divinités du paganisme. En imaginant ainsi des entités, on ne fait une œuvre ni plus scientifique ni plus féconde que celle d'un païen peuplant l'Olympe. En réalité on n'a rien fait qu'inventer des mots. Ostwald en arrive à déclarer que le grand avantage de l'énergétique est de supprimer les difficultés qu'ont rencontrées les philosophes pour expliquer les relations du corps et de l'esprit. S'il avait été jusqu'au bout de sa pensée, il aurait dû dire que « la notion de corps n'est pas particulièrement heureuse » et que l'esprit seul existe.

L'esprit dont il est ici question n'a rien de commun, d'ailleurs, avec l'énergie qu'étudie la Science. Nous saisissons là sur le fait un de ces jeux de mots, de ces calembours, d'à peu près par lesquels certains philosophes se donnent l'illusion de trouver dans la Science des arguments métaphysiques. L'esprit qu'introduit Ostwald sous le couvert de l'énergie, c'est l'âme, c'est une volonté, c'est une entité qui échappe à toute espèce de mesure; qui n'a pas d'équivalent mécanique. C'est une conception qui n'a plus rien de scientifique.

Toutes les énergies qu'étudie la Science ont le caractère fondamental d'êtres interchangeables, de telle sorte que l'énergie est invariante en quantité. De cette invariance même, il résulte que l'énergie ne peut avoir aucune liberté, aucune spontanéité, et il faut être bien décidé à se duper soi-même pour s'imaginer que cette énergie, notion scientifique, peut donner quelque apparence de réalité à l'esprit

que l'on a doté *a priori* de qualités exactement contraires. Quand on étudie les phénomènes de la vie par la méthode vraiment scientifique, on est conduit à la conclusion inverse, car on constate de plus en plus qu'ils s'expliquent tous par des transformations d'énergie.

Voici maintenant l'orientation positiviste. Les énergétistes exclusivistes déclarent que seule l'énergie est objet de science. Cela revient à dire que l'on ne doit étudier que les phénomènes et cela est la pure doctrine positiviste.

L'étude des phénomènes, c'est-à-dire des rapports constants qui les relient les uns aux autres, est bien le véritable objet de la Science, et Auguste Comte a rendu un grand service en insistant sur cette notion. Mais il ne faut pas que cette doctrine soit limitative. Il est puéril et vain de vouloir assigner des bornes à la Science. Les frontières du connaissable changent de génération en génération et on s'apercevra peut-être un jour qu'il ne reste rien au delà.

Dire avec les energétistes que les gaz ont une énergie de volume, c'est tout simplement exprimer le fait que leur volume change avec la température et la pression. Si on prend cette affirmation pour ce qu'elle est, c'est-à-dire pour une simple façon de parler, elle est parfaitement légitime, mais si on lui donne une signification restrictive, si on entend par là que la Science doit se borner à étudier les conditions dans lesquelles le volume varie, elle devient très fâcheuse. L'affirmation que les gaz ont une énergie de volume est bien loin d'être aussi féconde que l'hypothèse de Bernoulli sur l'origine cinétique de cette propriété.

La fâcheuse tendance limitative de la doctrine énergétique exclusiviste apparaît clairement dans ce passage d'Ostwald. « C'est ainsi que la théorie ciné-

tique donne lieu à de nombreuses questions dépourvues de signification expérimentale : elle fut la cause de problèmes apparents (Scheinproblem), suivant l'heureuse expression de Mach. Ce sont des problèmes d'une nature singulière ; une puissance surnaturelle aurait beau nous en donner la solution, nous ne pourrions rien en faire, car il n'y entrerait pas de grandeurs observables. »

Ces grandeurs sont cependant plus observables que celles de l'esprit, et d'ailleurs Ostwald a été obligé d'ajouter en note : « C'était vrai du temps où j'ai écrit ces lignes. Depuis lors il est devenu possible d'observer et de contrôler quelques conséquences de l'hypothèse cinétique et on les a trouvées concordant avec l'expérience. Ce progrès changea le problème apparent en problème réel ».

Ostwald semble en prendre aisément son parti et cependant c'est le naufrage de toute sa philosophie scientifique.

Si les savants avaient adopté sa manière de voir, ils auraient renoncé à toutes les recherches qui ont abouti au progrès en question, et il est immense. En effet on est arrivé non seulement à démontrer la réalité des molécules, mais à déterminer le nombre qu'en contient un volume gazeux. Ainsi l'étude plus approfondie des phénomènes a conduit sur la constitution de la matière à des notions qui permettent de concevoir la causalité comme une simple nécessité arithmétique. C'est ce que j'exposerai dans les chapitres consacrés au hasard et à la science.

LIVRE III

GÉNÉRALISATION ET EXTRAPOLATION

CHAPITRE I

La généralisation.

SOMMAIRE. — Constance des rapports. — Le nombre est le fait élémentaire. — Un suffit à construire toutes les mathématiques. — Homogénéité des nombres et raisonnement par récurrence. — La quantité et la qualité.

Les mathématiques confèrent-elles leur caractère de nécessité absolue aux questions auxquelles elles s'appliquent?

Généralisation dans la mécanique.

Permanence de l'énergie et principe de causalité.

Généralisation dans le temps.

Tous les êtres dont les centres nerveux sont un peu développés savent que les phénomènes se succèdent dans un ordre déterminé. Leurs ancêtres et eux-mêmes ayant constaté que le phénomène A précède toujours le phénomène B, et inversement que le phénomène B est toujours précédé du phénomène A, ils rattachent les deux phénomènes l'un à l'autre. Les hommes appellent le premier la cause, le second l'effet. N'ayant jamais observé d'infrac-

tions au rapport de causalité, ils en étendent la notion au delà de leur expérience, qui est forcément limitée, et lui attribuent une valeur générale. Ont-ils le droit de le faire?

S'ils ne l'ont pas, aucune science n'est possible. Si la généralisation est légitime, jusqu'à quel point l'est-elle? Le droit à la généralisation a-t-il des limites?

Sur cette question, la mentalité de bien des hommes est inférieure à celle des animaux. Personne ne croit aujourd'hui que les phénomènes soient absolument fantaisistes, mais nombreux sont ceux qui pensent encore que les événements peuvent déroger au principe de causalité. Ils croient aux miracles. Tous les Mahdis commencent par persuader à leurs adeptes qu'ils sont invulnérables. C'est un bon moyen d'en recruter et de leur faire mépriser le danger.

L'insecte qui paralyse sa proie en lui inoculant son venin narcotique dans les centres nerveux est sûr que, s'il exécute bien son opération, le résultat sera obtenu. La fouine ne doute pas que, si elle réussit à planter ses crocs dans le bulbe d'un poulet, elle pourra déguster tranquillement son foie. Elle sait qu'il n'y en a pas d'invulnérable. Elle n'apporte aucune réserve à sa généralisation.

Comment existe-t-il des hommes qui doutent du principe de causalité? C'est qu'ils introduisent des idées endogènes dans le domaine exogène. Ils ont l'illusion de la liberté. La liberté est incompatible avec le principe de causalité. Elle ne peut se manifester qu'en agissant sur le monde extérieur de telle sorte que toute manifestation de liberté serait une dérogation au principe de causalité. Cependant bien des hommes qui invoquent ce principe croient à leur liberté. Ils ne s'aperçoivent pas qu'en agissant ils

ne font que transformer de l'énergie : ils s'imaginent que par leur volonté ils modifient le cours des événements, et transportant cette notion endogène au monde extérieur, ils se disent que d'autres volontés plus ou moins semblables à la leur peuvent également les modifier. L'extériorisation des idées endogènes est la cause de toutes les superstitions et de la plupart des erreurs.

La notion de loi et la généralisation sont absolument connexes. La notion de loi est basée sur la constance des rapports entre certains phénomènes, et la constance des rapports n'est qu'une expression du principe de causalité.

Si le mot cause a un sens, il existe des rapports constants. Si ces rapports sont constants, ils se reproduisent toujours. La généralisation n'ajoute rien à la notion de constance. Il n'est même pas juste de dire que l'une justifie l'autre ; c'est la même chose sous deux mots différents.

La généralisation est habituellement considérée comme le résultat d'une induction. Le mot induction a un sens si vague qu'il est inutile de discuter là-dessus. On l'applique en effet à toute opération mentale qui n'est pas la déduction.

C'est la confiance dans l'expérience qui conduit à généraliser. La mémoire fait la sommation des cas innombrables où les phénomènes se sont passés d'une certaine façon, l'habitude associe les deux termes du phénomène et impose l'idée qu'ils sont toujours associés. La tendance à généraliser est devenue instinctive, c'est-à-dire qu'elle est fixée dans notre patrimoine héréditaire. Dans la vie ordinaire, on en abuse étrangement. On généralise à tout propos et de la manière la plus indue.

La généralisation scientifique a des bases plus sérieuses et c'est elle seule que j'étudierai.

*
* *

La notion la plus générale que nous ayons est celle de nombre, et pour elle la question du droit à la généralisation ne se pose même pas. Cependant ceux dont la principale préoccupation est de rabaisser l'instrument merveilleux qu'est l'intelligence humaine, l'ont posée. Je me rappelle qu'à l'époque où j'étais dans la classe qu'on appelle classe de philosophie, sous l'influence d'un enseignement métaphysique et de lectures pernicieuses, j'étais arrivé à me demander s'il est bien sûr que partout et toujours 2 et 2 font 4. Je me rappelle cette sorte de crise, mais comme si elle était arrivée à un autre. Je n'ai pas l'impression de l'avoir subie. Bien qu'il y ait une continuité incontestable entre l'être qui l'a subie et moi, les différences sont telles entre les deux que ce n'est pas le même être.

Il me semble qu'il n'y a pas d'absurdité plus grande que de se demander si 2 et 2 font nécessairement 4, car dire que 2 et 2 font 4, c'est simplement dire qu'on appelle 4 la somme 2 plus 2.

Y a-t-il autre chose dans le doute que l'on émet sur la relation de 4 avec 2? Se demande-t-on si l'adjonction de 2 à 2 peut, suivant les circonstances, donner des résultats variables? Cette hypothèse extraordinaire revient à admettre qu'en retranchant 2 de la somme 2 plus 2 on peut trouver comme reste autre chose que 2. Mais si le reste diffère de 2, c'est que la somme contenait autre chose que deux fois 2; elle n'était pas formée de l'adjonction de 2 à 2.

Toutes les opérations analytiques simples se présentent ainsi en partie double. A chaque opération correspond une opération inverse — la soustraction à l'addition, la division à la multiplication, l'extrac-

tion de la racine carrée au carré. Ce sont des opérations réversibles. Quand l'une a conduit à un résultat, en faisant sur ce résultat l'opération inverse, on est sûr de retrouver le point de départ.

On se sert couramment de l'addition pour vérifier le résultat d'une soustraction, de la multiplication pour contrôler le résultat d'une division. On pourrait penser que cet artifice prouve simplement que la première opération a été correcte et pas du tout que ses résultats ont une valeur absolue. Et en effet on dit, dans le langage courant, quand on vérifie par l'addition le résultat d'une soustraction, ou par une multiplication le résultat d'une division, qu'on en fait la preuve, mais on s'illusionne.

Pour que l'opération de retour, si je puis ainsi parler, prouve que l'opération d'aller a été correcte, il faut qu'elle-même le soit. S'il y avait, dans les deux opérations, une erreur de même ordre, on retrouverait le point de départ et cependant la première opération serait erronée. Si l'opération de retour, de contrôle était erronée, on serait conduit à penser que la première a été fautive et on se tromperait. Cet artifice n'a donc rien d'une preuve, mais il diminue pratiquement les chances d'erreur, aussi n'est-ce point de cela que je veux parler.

Voilà ce que je veux dire : quand une division a été bien faite, si on multiplie le diviseur par le quotient on est sûr de retrouver le dividende. La possibilité d'exécuter les deux opérations inverses prouve que chacune d'elles a une valeur absolue.

Ceci n'est point une démonstration logique; c'est une démonstration expérimentale. On peut donc dire qu'elle n'a pas de valeur générale, qu'elle ne vaut que lorsqu'elle est faite et qu'il faut la répéter pour chaque opération. C'est ce que soutiennent ceux qui

n'ont confiance que dans la seule logique, et cela revient à nier le droit à la généralisation.

Nous ne connaissons rien qui ait une généralité plus grande que les propriétés des nombres, aussi est-il impossible d'en donner une démonstration logique. Quand on ne peut pas démontrer, il ne reste d'autre ressource que de généraliser. C'est d'ailleurs la ressource fondamentale, car, à l'origine de toute démonstration, il y a une constatation expérimentale indémontrable. Si lointain que soit ce point de départ dans la longue série des déductions scientifiques, il existe toujours.

Un nombre est un fait : c'est le fait élémentaire.

Le nombre un est l'affirmation de l'existence d'une réalité distincte d'autres et débarrassée par l'abstraction de toutes ses qualités ou propriétés sauf l'existence. Le nombre un est une donnée expérimentale.

Et le nombre un suffit à construire toutes les mathématiques. En ajoutant un à un, on obtient un autre nombre auquel on peut encore ajouter un. Quel que soit le nombre auquel on est arrivé, par l'adjonction successive d'unités, on peut toujours lui ajouter une unité de plus et on arrive ainsi, en partant de un, à l'infini mathématique.

La série des nombres obtenue par adjonction d'unités possède des caractères importants qui sont réels, qui ont une réalité objective. Il n'y a rien d'humain, d'endogène, dans le fait d'ajouter 1 à 1. C'est une possibilité démontrée par l'expérience.

La série des nombres obtenue par adjonction d'unités est homogène. J'emploie à dessein le mot qui est ordinairement appliqué à des notions moins abstraites. Il garde d'ailleurs le même sens que lorsqu'il est appliqué à une solution ou à une barre formée d'un métal pur. Il signifie que deux tranches

égales de nombres, c'est-à-dire deux groupes comprenant chacun autant de nombres consécutifs, présentent les mêmes intervalles en quelque point qu'on les découpe dans la série générale des nombres entiers. Ceci résulte de la constitution même de ces nombres. Puisque chacun d'eux est obtenu en ajoutant l'unité au précédent, ils diffèrent les uns des autres de la même valeur.

De la notion d'homogénéité de la série des nombres résulte l'associativité, qui se formule symboliquement de la manière suivante :

$$a + (b + c) = (a + b) + c.$$

Ceci revient à dire que dans une addition de plusieurs nombres on peut grouper ces nombres à sa fantaisie sans altérer le résultat.

Il en résulte également commutativité :

$$a + b = b + a.$$

La notion d'homogénéité peut évidemment être ramenée au raisonnement par récurrence. Mais il serait plus juste de dire qu'elle le supprime : ce qui est un avantage non seulement parce que la notion d'homogénéité est plus générale, mais aussi parce que le raisonnement par récurrence n'est pas un raisonnement. H. Poincaré déclare avec raison qu'il est « irréductible au principe de contradiction ».

La notion d'homogénéité évite la série fastidieuse, interminable, des raisonnements par récurrence, qu'il faut recommencer de nombre en nombre et sans qu'ils prouvent rien.

Si la série des nombres avait été arbitrairement construite, il faudrait en démontrer l'homogénéité. Mais il n'est pas douteux que cette série a été réellement construite à partir de 1 en ajoutant 1 autant de fois que cela était nécessaire pour le cas consi-

déré, comme lorsqu'on compte sur ses doigts, on ajoute un doigt à un autre. C'est très probablement ainsi que la numération a débuté. On a cru constater que les oiseaux savent compter jusqu'au nombre correspondant à celui de leurs doigts.

La numération a donc une origine expérimentale. C'est par là qu'elle a une valeur objective, et c'est en raison de son mode de formation par l'unité que cette valeur est absolument générale.

Il n'y a là aucune espèce de convention. La notion d'unité, l'adjonction d'une unité à une autre sont des données expérimentales. S'occuper de l'idée que nous avons des nombres, comme si cette idée avait été déposée en nous par quelque puissance divine, c'est faire de la psychologie métaphysique. Partir de l'idée pour chercher à établir la réalité objective d'un fait, c'est méconnaître l'origine de toute connaissance, qui est expérimentale. Enfin, vouloir donner une démonstration logique d'une notion primaire, c'est faire une grave erreur de méthode. Car la démonstration logique ne peut consister qu'en ceci : montrer que si une certaine proposition n'était pas vraie, une autre proposition antérieurement établie ne le serait pas. C'est montrer la contradiction. C'est donc faire rentrer une proposition dans une autre, mais cela n'est possible que si l'autre est plus générale. Or, il n'y a pas de notion plus générale que celle de nombre.

Le raisonnement par récurrence cherche à établir que la relation qui est vraie pour l'unité est vraie pour un nombre quelconque. On passe pour la commutativité, par exemple, de

$$a + 1 = 1 + a$$

à

$$a + b = b + a$$

On passe du particulier au général, et, par conséquent, on ne démontre rien. En réalité, on refait, on réinvente la numération.

Les logisticiens ont bien senti la nécessité de passer du général au particulier pour donner une démonstration quelconque. Harcelés par cette sorte de besoin qu'éprouvent les mathématiciens qui perdent le contact avec la réalité de donner de tout une démonstration logique, ils ont cherché le point de départ à l'autre extrémité de la série des nombres, dans l'infini.

Si la raison qui les a conduits à cette tentative est profondément scientifique, je crois cependant que leur tentative est stérile. Ce qui constitue l'infini scientifique, c'est la possibilité d'ajouter 1 à un nombre quelconque. Comment alors partir de là pour définir logiquement la catégorie 1? On ne peut arriver à d'autre résultat que de définir 1 par 1. Les logisticiens ont beau remplacer 1 par un symbole, la notion d'unité n'en persiste pas moins sous le symbole. Il n'y a là qu'un trompe l'œil : il est impossible de définir logiquement 1 sans invoquer la notion de plusieurs, et dans la notion de plusieurs se trouve toujours la notion 1.

D'ailleurs, l'infini est une base bien fragile pour servir de point de départ. C'est une possibilité et non une réalité, c'est la possibilité d'ajouter 1 à n'importe quel nombre. Par là l'infini mathématique est insaisissable. Il échappe toujours. C'est simplement la constatation qu'il n'y a pas de limite à l'accroissement possible de la série des nombres. Une simple possibilité ne peut vraiment servir à établir la valeur de quoi que ce soit.

Ce besoin de démonstration de logique est une sorte d'infirmité intellectuelle à laquelle conduit l'habitude des symboles. On arrive à se persuader

que le symbole ne représente rien et que sa valeur est purement logique. Mais un symbole représente toujours quelque chose; le moins qu'il puisse représenter c'est le nombre, parce que le nombre est ce qu'il y a de plus abstrait.

Le nombre n'est pas une intuition. C'est le résultat d'abstractions successives. Le mécanisme de l'abstraction montre (voir p. 106) que, si par une série d'abstractions on arrive à éliminer tout, il ne reste rien, il n'y a plus d'objet de science. Tant qu'il reste quelque chose à étudier, ce quelque chose a une réalité propre, une réalité concrète, c'est du concret épuré.

Le nombre ne fait pas exception; 1 est une réalité. C'est une notion expérimentale, c'est un fait. Personne ne pourrait, je pense, soutenir que 1 n'existe pas. Or, 1 suffit à construire tous les nombres par adjonctions successives. Ce mode de construction est encore une vérité expérimentale, et elle a un caractère de nécessité, non pas de nécessité logique, mais de nécessité objective; quand on ne sait pas de mathématiques, on ne peut dénombrer les objets qu'en ajoutant 1 à 1. La manière de compter élémentaire, celle qu'on emploie en comptant sur ses doigts consiste en adjonctions successives de l'unité :

$$1+1,$$
$$(1+1)+1,$$
$$(1+1+1)+1.$$

Le résultat a un caractère de nécessité absolue.

Ce mode de constitution de nombres donne à la série (peu importe que l'on considère les nombres comme cardinaux ou ordinaux) l'homogénéité, qui est encore une nécessité absolue de la numération.

De l'homogénéité, on peut tirer toutes les pro-

priétés des nombres, qui par là même prennent aussi le caractère de nécessité absolue. Les lois des nombres ne peuvent pas être autres que celles que nous connaissons : elles sont d'accord avec toute réalité, elles sont absolues.

D'ailleurs la science des nombres s'est constituée d'une manière expérimentale. Les Grecs faisaient des constructions géométriques de préférence à des opérations sur les nombres qui leur étaient moins familières. C'est la géométrie qui a conduit à la science des nombres, par conséquent à l'observation. La mesure du rectangle à côtés égaux a conduit au carré d'un nombre.

Le triangle rectangle a conduit à la série des nombres dont le carré est égal à la somme de deux autres carrés.

Ces notions ont été considérées d'abord comme n'ayant d'intérêt que pour le rectangle, que pour le triangle. Puis, progressivement, on s'est aperçu de leur valeur générale.

Ont-elles perdu de leur force en changeant d'application? C'est ce que nous aurons à chercher tout à l'heure.



Les mathématiciens ont étendu singulièrement l'idée de nombre.

La possibilité de diviser un fruit en parties égales a conduit tout naturellement à la notion de fraction. Et puis la nécessité de mesurer les grandeurs a obligé à choisir une unité de mesure, et les cas se sont présentés aussitôt très nombreux où l'unité n'était pas comprise un nombre exact de fois dans la grandeur considérée. Pour mesurer la surface des carrés dont les côtés ne comprennent pas exactement l'unité de *mesure*, il fallut étudier

la multiplication des fractions, qui présentait une réelle difficulté.

Les mathématiciens ont été beaucoup plus loin, si loin que je suis incapable de les suivre. Ils ont introduit les nombres relatifs, les nombres irrationnels, les nombres imaginaires. Tous ces nombres peuvent être additionnés, soustraits, multipliés, divisés comme les nombres ordinaires qu'on appelle réels. Tannery écrit : « Chaque extension nouvelle de l'idée de nombre se fait en expliquant comment s'effectuent sur les nouveaux éléments que l'on fait entrer dans la catégorie du nombre, les opérations fondamentales : addition, soustraction, multiplication, division. La classe des nouveaux nombres n'est vraiment définie que quand on a donné cette explication ».

Ces catégories spéciales de nombres ont donc les caractères nécessaires du nombre, elles peuvent être additionnées, soustraites, multipliées, divisées. Elles n'ont d'existence véritable que quand on a établi la possibilité de les soumettre aux opérations fondamentales. Et ceci suffit à établir leur caractère de nécessité absolue.

D'ailleurs, la nature rationnelle ou irrationnelle des nombres, la distinction des racines en réelles et imaginaires n'a aucune importance en algèbre, où on les traite comme des nombres ordinaires.

Il ne faut pas oublier que ce sont des nécessités objectives qui ont conduit à l'étude de certaines combinaisons spéciales de nombres, ni que ces dernières sont d'une grande fécondité.

Toutes les relations entre les nombres, toutes celles que l'on a trouvées, toutes celles que l'on trouvera ont ou auront le même caractère de nécessité implacable. D'autre part, toutes les possibilités peuvent être exprimées par les nombres.

Kant avait divisé les idées humaines en deux catégories, la quantité et la qualité, la première constituant à elle seule le domaine de la Science dont la qualité était exclue. Cette division ne correspond à rien. Descartes, par un coup de génie, a montré qu'on peut représenter par des nombres, non seulement des longueurs, mais des formes, des positions. Par un système de coordonnées, on peut déterminer la position d'un point et la représenter par des nombres. Ainsi la géométrie qui avait d'abord servi à constituer les mathématiques est devenue une branche de cette dernière. Aujourd'hui les mathématiciens s'appellent des géomètres.

La physique tout entière est devenue une science mathématique. Les qualités du son, les qualités de la lumière s'expriment par des nombres qui représentent des vibrations et toutes ces qualités peuvent s'écrire en chiffres.

A mesure qu'une science progresse, elle mesure, et les mesures s'expriment par des chiffres, puis elle trouve des relations qui permettent d'écrire des égalités et la notion ainsi exprimée rentre immédiatement dans le domaine des mathématiques.

Ce ne sont pas les mathématiques qui s'introduisent dans la Science, c'est la Science qui est absorbée par les mathématiques.

*
* *

La grosse question est de savoir si celles-ci communiquent leur caractère de nécessité absolue à toutes les questions auxquelles on les applique.

Tannery ne le pensait pas : « Il ne faut pas oublier, a-t-il écrit, que cette nécessité logique qui y règne en maîtresse ne concerne que les signes ; rien n'autorise à la transporter dans les choses, en lui

conservant le même caractère. Le rôle que jouent les mathématiques dans les sciences ne doit pas faire illusion... Elles ne peuvent affirmer l'accord entre les résultats d'un calcul et les résultats d'une expérience; cet accord est un fait et il n'a pas, il ne peut avoir d'autre importance qu'un fait, répété autant qu'on le voudra ».

C'est nier le droit à la généralisation, c'est nier la Science. Mais on voit très bien comment on est conduit à ce scepticisme. C'est en perdant de vue l'origine expérimentale des mathématiques, et le mécanisme de l'abstraction.

Par ce double oubli, on est conduit à admettre, en quelque sorte, deux mondes distincts, le monde de l'abstraction, où la logique règne en maîtresse, et le monde de la réalité, qui ne lui est pas soumis. Quand on constate l'accord entre ces deux mondes on le considère, c'est Tannery qui parle, comme un fait, un fait de peu d'importance, une sorte de vague coïncidence.

Toute l'histoire des mathématiques se dresse contre cette interprétation, en montrant leur origine expérimentale. C'est des faits qu'elles tirent leur puissance. La logique démontre leur valeur, mais ne la leur donne pas. Elles l'ont en réalité. Il n'y a pas deux mondes distincts, l'un abstrait, l'autre concret. L'abstrait, je le répète encore, n'est que du concret épuré. Si loin qu'on le développe, tant qu'on ne sort pas des limites légitimes de l'abstraction et qu'on ne commet pas d'erreurs, il reste en accord avec le concret parce qu'il en fait partie. L'accord n'est pas fortuit, ce n'est pas une coïncidence, c'est une nécessité.

Tout le monde sait que l'on fait des machines à compter qui exécutent mécaniquement des calculs fort compliqués. Doit-on dire que ce sont les mathé-

matiques qui leur donnent leur puissance, ou bien qu'elles démontrent la puissance des mathématiques? Ces deux propositions sont également vraies ou également fausses; elles ne signifient rien. Ces machines montrent tout simplement l'accord entre le domaine abstrait et le domaine concret.

Quand on met de la réalité sans rien d'autre dans l'appareil mathématique, il en sort toujours de la réalité. Si une solution mathématique n'est pas conforme à l'expérience, c'est que le point de départ était mauvais. Si le point de départ est sûr, le résultat a un caractère de certitude absolue.

Je ne dis pas que nous lui attribuons ce caractère, je dis qu'il l'a réellement.

Il le doit, je le répète encore, au mode de constitution des nombres. Tous les faits en série caractérisés par cela que chaque terme de la série diffère du précédent et du suivant de la même quantité ont l'homogénéité, d'où découlent des rapports inéluctables. Cela est matériellement vrai. Si on représente 1 par une boule, symbole matériel; on pourra grouper toutes les unités de la manière suivante :

0	00	0	00	00	000	000	0000	0000
		00	00	000	000	0000	0000	00000, etc.

On obtient ainsi des nombres en quelque sorte matériels, qui ont toutes les propriétés des nombres abstraits. On y distingue tout de suite les nombres pairs caractérisés par leur symétrie. On peut, avec ces nombres matériels, vérifier l'associativité, la commutativité, etc.

Evidemment, on n'irait pas très loin avec ce système, qui n'est qu'une numération enfantine. Mais ce n'est pas un jeu, ni même une expérience qui ne prouve qu'un fait. Cette manière d'écrire prouve

que les propriétés élémentaires des nombres, dont on peut tirer toutes les autres, sont des propriétés réelles, objectives, absolument indépendantes de l'idée que nous en avons, des propriétés absolues qui sont réalisées partout.

Hermite a exprimé très fortement cette idée : « Je crois, dit-il, que les nombres et les fonctions de l'analyse ne sont pas le produit arbitraire de notre esprit; je pense qu'ils existent en dehors de nous avec le même caractère de nécessité que les choses de la réalité objective et que nous les rencontrons, ou les découvrons, ou les étudions comme les physiciens, les chimistes et les zoologistes ».

Ceux qui discutent la valeur de l'idée de nombre semblent douter de l'intelligence humaine. En réalité, ils s'en font une idée follement orgueilleuse. Ils s'imaginent que le cerveau humain a tiré de lui-même l'appareil mathématique, magnifique et formidable. Le cerveau n'a rien tiré de lui-même. Comme le dit Hermite, il a rencontré, découvert, étudié des relations qui existent en dehors de lui. Quand le cerveau humain se mêle d'ajouter quelque chose aux constatations qu'il a faites, il ne peut ajouter que des notions d'origine endogène, car il n'a pas autre chose à sa disposition, et, dès qu'il se laisse aller à cette tendance, bien loin d'accomplir un progrès, il ruine ses acquisitions exogènes. Comme il suffit d'un microbe pour polluer une rivière, il suffit d'une idée endogène pour anéantir un édifice scientifique.

Toutes les discussions sur les nombres — et cela est vrai de toutes les attaques dirigées contre la Science — ont une allure psychologique. On parle toujours de l'idée de nombre et jamais du nombre. C'est le nombre seul qui importe et le nombre imposait ses lois avant qu'il y eût des êtres pour les trouver.

Cela n'a rien du nominalisme; c'est tout le contraire. Je ne parle pas de concept, mais de réalité.

Les hommes parlent beaucoup d'idées, parce qu'ils ont une lourde hérédité mystique, encore aggravée par une éducation métaphysique. Si l'éducation avait pour base le transformisme, l'origine de l'homme, l'idée serait considérée comme un phénomène de mémoire consécutif à des impressions répétées. Toutes les fois que l'impression serait venue du dehors, et que le souvenir n'en serait pollué par aucune impression venue du dedans, l'idée apparaîtrait non pas seulement comme l'image, mais comme la figure même de la réalité.



Un jour, toute la science sera exposée en langage mathématique. Je parle d'une époque bien lointaine, mais elle viendra, pourvu que l'humanité dure assez longtemps.

Pour la mécanique, le droit à la généralisation n'a pas besoin d'être établi, car la mécanique, je l'ai déjà dit, est une science supra-terrestre. Elle a fait abstraction, dès l'origine, de beaucoup de conditions qui ne peuvent être supprimées sur la terre. Aussi s'est-elle développée surtout comme la mécanique des astres, la mécanique céleste.

Mais on peut se demander s'il est légitime de la généraliser à d'autres systèmes solaires que le nôtre. Cela nous conduit à la physique, car la mécanique céleste a pour base la loi de Newton, cette loi « dont la simplicité, dit Tannery, décourage l'admiration et arrête le sourire du philosophe devant les gens qui rêvent je ne sais quels accords mystérieux entre les choses et notre pensée ». Ces accords n'ont rien de mystérieux; le transformisme montre leur réalité et leur nécessité.

La loi de Newton est-elle applicable à tous les systèmes solaires? C'est là, évidemment, une question qui n'a aucune importance pratique, mais elle a une très grande importance philosophique. Elle fournit un des meilleurs exemples des progrès de la science et du droit à la généralisation. Elle montre aussi combien la texture de la science est serrée, et c'est là une notion capitale.

Je ferai remarquer d'abord que l'analyse spectroscopique a montré que les étoiles sont composées des mêmes éléments chimiques que la Terre. Nous devons donc considérer que la matière des étoiles a les mêmes propriétés que celles de la Terre et en particulier la masse. L'attraction conformément à la masse est valable pour les étoiles. D'ailleurs, certaines comètes chevauchent sur plusieurs systèmes solaires.

La seconde partie de la loi de gravitation que Newton a eu tant de peine à établir, le rapport inverse avec le carré des distances, nous apparaît aujourd'hui avec une extrême simplicité. C'est la loi de toutes les forces qui rayonnent à partir d'un centre : c'est une loi géométrique, elle dépend des propriétés de la sphère. Mais pourquoi nous apparaît-il comme absolument nécessaire que les propriétés de la sphère deviennent la loi des forces rayonnantes? C'est parce que la Science a fait une acquisition nouvelle qui a conquis rapidement tous les esprits, la conservation de l'énergie.

Ce principe est d'une admirable fécondité. Son introduction donne un caractère de nécessité à tout un groupe de lois. Il faut bien se rendre compte de l'immense progrès réalisé par cette acquisition.

Avant qu'il fût connu, on avait cherché un certain nombre de ces lois qu'il explique, ainsi, par exemple, celle de la propagation du son. L'affaiblis-

sement du son suivant la distance des corps sonores est évidemment en raison inverse du carré de la distance. Un enfant aujourd'hui arriverait à cette notion. Or, voici ce qu'écrivait A. Comte : « On a coutume de supposer ce décroissement en raison inverse du carré de la distance, ce qui constituerait sans doute une loi fort importante, si nous pouvions compter sur sa réalité. Mais, outre qu'aucune suite d'expériences précises n'a jamais été instituée pour la vérifier, les considérations mathématiques sur lesquelles on l'appuie uniquement sont, il faut l'avouer, extrêmement précaires, si ce n'est frivoles... Cette marche est, à mon gré, tellement arbitraire que je ne serais pas éloigné de l'attribuer, en grande partie, à l'influence inaperçue de la prédisposition trop commune à retrouver dans tous les phénomènes la formule mathématique de la gravitation, en vertu du préjugé métaphysique sur la loi absolue des irradiations quelconques ».

Où Auguste Comte ne trouvait qu'une sorte de tendance mystique, nous voyons une nécessité absolue.

Si une force qui rayonne à partir d'un centre ne suivait pas les lois de la sphère, si elle n'était pas inversement proportionnelle au carré des distances, ou bien l'énergie serait augmentée, ou bien elle serait diminuée. Or, comme en raison du principe de conservation, une énergie ne peut ni s'augmenter ni se diminuer, cela est impossible.

On s'est demandé si les attractions entre les molécules et les atomes ne varient pas proportionnellement au cube de la distance. Si cette hypothèse était démontrée, le principe de la permanence de l'énergie ne serait nullement atteint. Une énergie ne peut pas varier proportionnellement à la distance, parce que s'il en était ainsi, elle s'accroîtrait elle-

même, il y aurait un effet sans cause. Mais pour qu'elle varie suivant une puissance de la distance plus élevée que le carré, il suffit qu'elle produise en route du travail. Si les forces qui unissent les molécules ou les atomes varient proportionnellement au cube de la distance, c'est qu'il y a un phénomène intermédiaire surajouté. Ni la loi de gravitation, ni la permanence de l'énergie ne peuvent être atteintes par là.

Si Newton avait connu le principe de permanence de l'énergie, il serait arrivé aisément à loi du carré des distances. Mais s'il n'y était pas arrivé par une tout autre voie on n'aurait pas mesuré l'action solaire dans toute l'étendue de l'orbite des planètes, on aurait manqué d'un élément important pour établir la constance de l'énergie, et peut-être n'y serait-on pas parvenu.

Nous sommes en possession de deux notions. Les étoiles ont une masse comme la matière terrestre, et d'autre part l'énergie est permanente.

Ces notions nous permettent-elles de généraliser la loi de gravitation, hors de notre système solaire, à l'univers ?

Les orbites des planètes sont nécessairement des courbes fermées, sans quoi il n'y aurait pas de systèmes solaires.

Le soleil pourrait-il occuper le centre au lieu du foyer des orbites elliptiques des planètes?

Auguste Comte, toujours préoccupé de relativité, considérant la science humaine comme une science terrestre, déclarait que nous n'avons aucun droit de généraliser à l'univers. Aussi a-t-il écrit : « Comme l'idée d'une orbite autour du soleil pour centre, quelque opposée qu'elle soit à toutes les observations, est fort loin, évidemment, de présenter aucune absurdité intrinsèque, on aperçoit ainsi dans tout son jour

la profonde inanité nécessaire de tous les prétendus raisonnements *a priori* pour lesquels tant d'esprits se sont efforcés d'établir, abstraction faite de l'analyse mathématique des phénomènes exactement explorés, l'impossibilité absolue d'aucune autre loi que celle de Newton, relativement à l'action du soleil sur les planètes ».

Cette phrase a été écrite en 1835. Si A. Comte vivait, il ne l'écrirait plus. L'idée d'une orbite elliptique autour du soleil pour centre présente, en effet, une absurdité intrinsèque. Newton avait déjà calculé que si le soleil était au centre de l'orbite elliptique des planètes, son action, au lieu d'être inversement proportionnelle au carré de la distance, devrait varier en raison directe de la distance elle-même. Newton, encore moins que Comte, ne pouvait voir l'absurdité intrinsèque. Elle est pour nous très choquante. La variation de l'action du soleil en raison directe de la distance viole le principe de la conservation de l'énergie. La conception d'une énergie qui varie en raison directe de la distance, qui grandit en s'éloignant, qui, par conséquent, s'augmente elle-même, nous révolte, parce que nous connaissons un principe plus général qu'elle ne satisfait pas. La constance de l'énergie nous permet de dire, nous force à affirmer qu'un soleil est nécessairement au foyer de l'orbite elliptique de ses planètes.

La constance de l'énergie impose la loi du carré des distances pour toute force qui rayonne; elle impose également aux soleils d'occuper le foyer des orbites elliptiques des planètes. Ce sont là des nécessités absolues.

Mais ce n'est pas tout. La nature de la courbe décrite par les planètes dépend de leur vitesse initiale. Un accroissement de la vitesse d'une planète

transformerait son ellipse en une parabole, et, s'il était plus grand, en une hyperbole. Les planètes s'éloigneraient sans cesse du soleil, il n'y aurait pas de système solaire. Ainsi la vitesse initiale paraît, elle aussi, avoir un caractère de nécessité.

C'est cet enchaînement de relations qui forme la tessiture serrée de la sçience, ou plutôt de la réalité. Masse, vitesse initiale, position des soleils, loi du carré des distances, constance de l'énergie, tout cela se tient, forme un ensemble cohérent auquel on ne peut rien modifier.

Le principe le plus général qui cimente le tout, c'est la permanence de l'énergie. Ce principe si général, avons-nous le droit de l'étendre à tout l'univers?

Comme l'énergétique a pénétré et pénétrera de plus en plus dans toutes les parties de la science, y compris la biologie, répondre à cette question, c'est traiter d'une façon générale et d'ensemble le droit à la généralisation.

Il est bien entendu que pour arriver à la notion de permanence de l'énergie, il a fallu d'abord établir l'équivalence des diverses formes de l'énergie. Les grands principes généraux, quand on les a trouvés, se présentent à nous resplendissants de simplicité et de beauté; mais ils sont masqués par tant de contingences qu'il faut du génie pour les découvrir.

Qu'y a-t-il dans le principe de la conservation de l'énergie? N'est-ce pas tout simplement la constatation qu'il y a des lois? Le rapport de causalité ne contient-il pas le principe de la permanence de l'énergie?

Si la quantité totale de l'énergie pouvait subir une modification quelconque, les effets cesseraient d'être proportionnels aux causes; le principe de causalité serait violé.

Ainsi le principe de causalité me paraît renfermer le principe de la permanence de l'énergie. C'est le même principe exprimé sous deux formes qui permettent de l'utiliser dans des conditions différentes. L'expression d'un principe a une grande importance scientifique. La fécondité dépend parfois de la forme.

Nous verrons en étudiant le hasard vrai que le principe de causalité peut se ramener à des nécessités arithmétiques. Ainsi l'ensemble des choses prend un caractère de nécessité absolue.

*
* *

J'ai envisagé jusqu'ici le droit à la généralisation dans l'espace. La conservation de l'énergie introduit l'autre face de la question, la généralisation dans le temps.

Il peut paraître singulièrement audacieux de conclure quoi que ce soit du présent et du court passé que nous connaissons à un avenir si éloigné que nous sommes absolument incapables de le concevoir. Notre imagination n'est faite que de souvenirs; de là sa faiblesse. Elle n'est pas créatrice, mais seulement utilisatrice.

N'est-ce pas sa faiblesse qui nous rend timide et nous fait hésiter à généraliser à l'avenir? Scientifiquement, la possibilité de concevoir les choses n'a aucune importance. Nous ne sommes plus au temps où l'on faisait intervenir dans la logique la concevabilité. D'ailleurs l'espèce d'émotion religieuse qu'éprouvaient les hommes devant ce qu'ils appellent l'éternité, est bannie, comme toutes les terreurs fétichistes, du cerveau des savants, et l'avenir du monde est devenu une de leurs préoccupations habituelles.

Je ne m'occuperai point ici de ce point de vue qui n'a rien à voir avec la généralisation. La question est de savoir si les lois scientifiques peuvent être généralisées dans le temps.

Les observations astronomiques nous font connaître des astres qui sont à des époques d'évolution très différentes. Il y a des astres gazeux où tout est énergie, car la forme gazeuse est de tous les états de la matière celui qui contient le plus d'énergie libre. Il y a des astres morts où l'énergie est en grande partie figée dans des solides ou des liquides. Ils ont conservé leur masse et avec elle l'énergie de gravitation.

L'astronomie permet des constatations qui, bien que simultanées, ont la même valeur au point de vue du temps que si elles étaient séparées par des milliers de siècles. Une nébuleuse nous représente notre système solaire tel qu'il était dans un passé infiniment lointain. Un astre mort nous représente ce que sera notre système dans un avenir infiniment éloigné. Nous avons donc des éléments pour parler du temps avec une certaine ampleur.

Or, jamais aucune dérogation n'a été constatée à une loi bien établie.

Le caractère de nécessité des lois s'impose d'autant plus qu'elles ne sont sans doute que le résultat du hasard. Le calcul des probabilités, qui permet de retrouver les lois des gaz, s'applique vraisemblablement aussi à la Voie lactée. Celle-ci peut être considérée comme une immense bulle de gaz dont les molécules sont des astres.

Vus de la constellation d'Hercule, nous faisons sans doute partie d'une voie lactée à laquelle le même calcul serait applicable, de telle sorte que la grande loi paraît être celle du hasard. Mais le hasard est une loi, ainsi que j'essaierai de le montrer plus

loin. La notion de hasard et la notion d'absolue nécessité, bien loin d'être contradictoires, s'expliquent l'une l'autre.

L'étude de la généralisation nous a conduits sur tous les points à la notion de nécessité absolue. Mais je tiens à faire remarquer que la nécessité absolue n'implique nullement la stabilité. Elle s'applique, aussi bien qu'à tout le reste, au principe de Carnot, qui est le principe d'évolution. Quand je dis que telle relation entre deux phénomènes a un caractère de nécessité absolue, cela veut dire que ces deux phénomènes ne peuvent pas être liés par une autre relation. Mais les conditions peuvent être telles en certains temps ou en certains lieux que le phénomène ne se produise pas. C'est l'occasion qui manque pour que la loi s'applique et non la loi qui est en défaut. Je parle comme si les lois que nous connaissons étaient parfaitement exactes. Il va sans dire que je ne les crois pas telles. Mais la perfection d'une loi et sa nécessité sont deux choses tout à fait distinctes. Je reviendrai sur cette question. (V. p.285.)

CHAPITRE II

Extrapolation.

SOMMAIRE. — Différence entre la généralisation et l'extrapolation.

L'extrapolation est un artifice provisoire dont les résultats ne peuvent être précis.

L'extrapolation, bien qu'elle serve aussi à étendre les données de l'expérience, diffère grandement de la généralisation.

La généralisation consiste à admettre que, les conditions étant les mêmes, les phénomènes ne changent pas. Comme je l'ai dit précédemment, généraliser c'est tout simplement appliquer le principe de causalité ou encore affirmer l'existence de lois.

L'extrapolation n'est pas liée directement au principe de causalité. Elle consiste à étendre dans un même ordre de phénomènes les résultats expérimentaux à des conditions qui ne sont pas identiques.

Par exemple, en étudiant la réfraction, on constate qu'il existe une relation entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction, quand l'angle d'incidence est petit. Si l'on conclut que le fait constaté pour les petits angles est vrai pour les grands, on fait une extrapolation, ce qui conduit à une erreur, car ce n'est pas entre les angles, mais entre leurs sinus qu'existe la proportionnalité. Ce qui a rendu l'er-

reur possible, c'est que pour les petits angles les sinus sont proportionnels aux angles.

Voici un autre exemple. Quand la température d'une source lumineuse s'élève, le rayonnement ultra-violet augmente. On mesure la progression de ce rayonnement. Mais on n'a pu dépasser expérimentalement la température de 4.000°. Si on veut savoir quel est le rayonnement ultra-violet à 6.000°, que fait-on? On extrapole. On applique entre 4.000° et 6.000° les formules que l'expérience a montrées exactes entre 3.000° et 4.000°. On est à peu près certain que le résultat ainsi obtenu est voisin de la vérité, mais on ne peut affirmer qu'il est exact. S'il n'est pas exact, le principe de causalité n'est nullement atteint.

Ce n'est pas lui qui conduit à extrapoler, c'est plutôt une sorte de sentiment de régularité ou de symétrie.

Dans le domaine sur lequel porte l'extrapolation, les conditions ne sont plus les mêmes, il y a quelque chose de changé. Dans ce dernier exemple, c'est la température.

La loi de Mariotte est encore un exemple d'extrapolation. Mariotte n'avait mesuré les volumes ni pour tous les gaz ni pour toutes les pressions. En formulant sa loi, il a extrapolé deux fois.

En admettant que ce qu'il avait constaté pour certaines pressions restait vrai quelle que fût la pression, il a extrapolé. Il a extrapolé encore en pensant que ce qu'il avait constaté pour quelques gaz était vrai pour tous.

L'extrapolation n'est pas une méthode légitime comme la généralisation. C'est une sorte d'artifice d'un caractère provisoire qui permet une certaine approximation en attendant que l'expérience fournisse la précision. Moyen d'attente, de début dans

l'étude des phénomènes, il doit toujours être soumis à une revision expérimentale.

Quand l'expérience a montré que les résultats d'une extrapolation sont inexacts, certains esprits s'empressent de déclarer que la science fait banqueroute. Ils montrent par là qu'ils ignorent et la science et ses méthodes.

S'il était démontré que le résultat d'une généralisation est erroné, c'est-à-dire que les causes restant les mêmes, les effets changent, ils auraient le droit de déclarer non seulement que la science fait banqueroute, mais qu'il n'y a pas de science possible. L'extrapolation ne donne pas les mêmes garanties que la généralisation : c'est un procédé très précieux, un procédé d'avant-garde en quelque sorte, qui permet de devancer l'expérience, mais dont les résultats sont imprécis, voire même incertains.

Mariotte avait fait des extrapolations; il faut ajouter que ses mesures n'étaient pas très rigoureuses. Ce fait conduit à penser qu'au début de l'étude d'un groupe de phénomènes une certaine imprécision a des avantages. Si les expériences de Mariotte avaient été plus précises, sans doute il n'aurait pas osé formuler sa loi. Or, celle-ci a rendu de grands services pratiques et, ce qui est plus important, elle a servi de point de départ aux travaux ultérieurs. C'est en cherchant à la vérifier que Regnault a constaté que presque tous les gaz sont un peu plus compressibles que ne l'indique la loi de Mariotte.

Pierre Laffitte, le successeur d'Auguste Comte comme chef du positivisme, aimait à répéter que Regnault avait été un malfaiteur public. Sans doute il voulait dire qu'en montrant l'inexactitude de la loi de Mariotte, Regnault fournissait une arme aux détracteurs de la science.

En réalité, celui qui apporte plus de précision dans nos connaissances rend toujours service. Rien ne le montre mieux que les recherches effectuées sur le volume des gaz par rapport à la pression.

On a constaté d'abord que presque tous les gaz sont un peu plus compressibles que ne l'avait pensé Mariotte, puis que l'hydrogène l'est au contraire un peu moins. Ces recherches avaient conduit à établir des tables de corrections permettant de trouver le volume de chaque gaz par rapport à la pression. Ce résultat satisfaisant au point de vue pratique, ne l'est pas au point de vue scientifique. Une loi qui a besoin de corrections n'est pas une bonne loi.

Cailletet et Amagat ont montré qu'au delà d'une certaine pression tous les gaz tendent à se comporter comme l'hydrogène et, fait plus important peut-être, Amagat a établi qu'il en est de même pour tous les gaz quand on élève suffisamment la température. Par là, on est conduit à établir une nouvelle notion, l'éloignement du point critique. En en tenant compte, on arrivera sans doute à établir une loi qui s'appliquera à tous les gaz sans corrections. Et cela conduit encore à une autre notion très importante et très générale : c'est que sous la même forme, — liquide, solide ou gazeuse, — la matière présente des états différents, c'est-à-dire que son énergie cinétique varie. Cet état cinétique est peut-être le résultat de plusieurs facteurs, mais parmi ceux-ci la température joue un rôle prédominant. On comprend, par exemple, qu'à 195° centigrades un corps comme l'oxygène, dont le point critique est à — 118°, n'est pas dans le même état qu'un autre corps comme l'éther, dont le point critique est à 194°,4. Ce qui revient à dire que pour comparer légitimement plusieurs corps, il faut les prendre sous des états comparables.

Par là, on entrevoit que si l'on connaissait bien toutes les conditions qui doivent être prises en considération, on n'aurait plus besoin d'extrapoler. La généralisation s'appliquerait à tous les cas, et ceci montre encore que l'extrapolation est une méthode d'attente dont les résultats sont provisoires.

LIVRE IV

DÉMONSTRATION ET DÉCOUVERTE
LE HASARD

CHAPITRE I

Démonstration et découverte.

Sommaire. — Le syllogisme. — Le raisonnement : association orientée des idées. — Les sciences déductives ne peuvent se passer de l'induction.

L'induction est l'âme de la découverte. — Découverte des faits. — Découverte des lois. — Travail cérébral inconscient. — Rôle du sentiment et de l'imagination. — L'impression d'harmonie et l'adaptation des colloïdes.

Le syllogisme, base des démonstrations logiques, tire sa force du droit à la généralisation d'une part et d'autre part du principe de contradiction.

Un syllogisme établit la nécessité logique d'une proposition en montrant que si elle n'était pas vraie, une autre proposition qui sert de prémisse ne le serait pas non plus. Comme la prémisse est reconnue pour vraie, il y aurait contradiction. Ainsi c'est la valeur de la prémisse qui, par le principe de contradiction, confère à la conclusion son caractère de

nécessité : et la prémisse ne peut avoir de valeur que si la généralisation est légitime.

Le syllogisme qui a été le plus souvent pris comme exemple est celui-ci : Les hommes sont mortels; Wellington est un homme; donc Wellington est mortel.

C'est un bien mauvais exemple, car ce truisme n'a de syllogisme que la forme. Si tous les hommes sont mortels, chaque homme est mortel, il n'y a pas besoin de raisonner pour s'en apercevoir. Dire que Wellington est mortel parce qu'il est un homme et que tous les hommes sont mortels, c'est vraiment ne rien dire du tout. Il n'y a là aucun raisonnement, aucun progrès, aucune acquisition nouvelle.

De la proposition « les hommes sont mortels », on ne peut tirer que des conclusions négatives parce qu'elle n'est pas une définition de l'homme. La seule conclusion utile qu'il soit possible d'en tirer est celle-ci : A n'est pas mortel, donc A n'est pas un homme.

Les propositions qui sont des définitions sont bien plus fécondes.

Je prends comme exemple le théorème de géométrie : le carré construit sur l'hypoténuse d'un triangle rectangle est égal à la somme des carrés construits sur les deux autres côtés. Si l'on s'en sert pour établir un prétendu syllogisme du même type que celui de Wellington, on arrive à ceci. Le triangle A est un triangle rectangle ; donc le carré de son hypoténuse est égal au carré de ses deux autres côtés. En réalité, on n'a fait aucune espèce de raisonnement.

Du théorème, on peut encore tirer une conclusion négative comme on en tire de la proposition « les hommes sont mortels ». Le triangle C n'a pas de côté dont le carré soit égal à la somme des carrés des deux

autres côtés, donc ce n'est pas un triangle rectangle.

Mais on peut en outre tirer du théorème des conclusions d'un autre ordre et c'est en cela qu'il est plus fécond. Il peut servir à déterminer la nature d'un triangle.

Si l'on connait les dimensions des trois côtés d'un triangle sans en connaître les angles, on peut faire le raisonnement suivant. Le théorème du carré de l'hypoténuse établit que, dans certains triangles, il existe une relation entre les côtés et un angle. Si les dimensions des côtés du triangle en question sont telles que la somme des carrés construits sur les deux petits soit égale au carré construit sur le grand, on conclura que le triangle est rectangle. On aura fait un raisonnement ; la conclusion qui est affirmative, qui apprend quelque chose, est légitime parce que le triangle rectangle est la seule figure qui satisfasse à cette condition. Le théorème est une définition du triangle rectangle.

Essayons de raisonner de même en partant de l'affirmation : les hommes sont mortels. Le problème se pose alors de la manière suivante : les hommes sont mortels. — X est mortel, est-il un homme ? Si j'applique le même raisonnement que pour le triangle, je dirai : X est mortel, tous les hommes sont mortels : donc X est un homme et je dirai une bêtise. La conclusion est absurde car X peut être un chien, un chat, un animal quelconque. Ce n'est pas le syllogisme qui est responsable de l'absurdité, c'est la prémisse. — Elle est vraie, les hommes sont bien mortels, mais elle ne légitime pas le syllogisme précédent parce qu'elle n'est pas une définition de l'homme. Elle ne la légitimerait que si seuls les hommes étaient mortels.

On exige beaucoup de qualités d'une définition, des qualités de forme : la clarté, la brièveté, puis des qualités de fond. Il faut qu'elle soit universelle et propre et qu'elle soit réciproque. Ces deux qualités n'en font qu'une. Si une définition est universelle et propre, c'est-à-dire si elle s'applique à tout le défini et seulement au défini, elle est forcément réciproque, c'est-à-dire que sans en changer le sens on peut mettre l'attribut à la place du sujet. C'est la qualité fondamentale, celle qui légitime toutes les conclusions. Les seules conclusions légitimes que l'on puisse tirer des propositions qui ne sont pas réciproques ou réversibles sont de forme négative. Ceci montre qu'il est capital de surveiller sévèrement la majeure d'un syllogisme.

Le syllogisme est indispensable ; mais, même légitime et correct, c'est un instrument assez misérable qui ne peut mener bien loin.



Un raisonnement ne consiste pas en un syllogisme ; c'est un enchaînement de syllogismes. Par quoi sont-ils enchaînés ? Le lien qui les unit n'est pas lui-même syllogistique.

La conclusion du syllogisme antécédent devient la prémisse du syllogisme suivant, mais ce n'est pas par la déduction qu'on est conduit à faire d'une conclusion une nouvelle prémisse. Il faut apercevoir une nouvelle relation de la conclusion, et cette relation, c'est l'induction qui la fait trouver. Il n'y a pas un raisonnement un peu compliqué qui soit purement déductif et qui ne fasse appel à l'induction.

Dans tout raisonnement, il y a une orientation, et c'est cette orientation qui conduit au but.

Elle repose uniquement sur l'induction, qui est faite

d'une association correcte des idées intersyllogistiques.

Le rôle de l'association des idées dans la démonstration n'apparaît nulle part plus clairement que dans la géométrie à la manière des Grecs. La démonstration des théorèmes les plus simples nécessite une construction. Cette construction matérialise en quelque sorte l'association d'idées et elle exige souvent une véritable ingéniosité. Aussi, je crois que l'enseignement de la géométrie à la manière des Grecs serait très utile si, au lieu d'insister sur la démonstration, parfois un peu puérile, on mettait en relief la méthode, car, comme le disait Auguste Comte, les hommes ont plus besoin d'éducation que d'instruction.

Un syllogisme s'impose à tous les esprits même les plus ordinaires. Il n'en est pas de même d'un raisonnement. On peut comprendre tous les syllogismes d'un raisonnement et ne pas comprendre le raisonnement lui-même. Qu'est-ce que l'on ne comprend pas ? C'est l'orientation de l'ensemble : c'est le lien qui unit les syllogismes. Chacun d'eux reste isolé.

Une chaîne formée d'anneaux d'or et d'argent peut servir de comparaison. Les anneaux d'argent représentent les syllogismes, les anneaux d'or le lien qui les unit. Pour bien des gens, un raisonnement est une chaîne de ce genre dont les anneaux d'or sont brisés. Ils ne peuvent reconstituer la chaîne. Ils sont incapables d'en utiliser les éléments.

Qui est-ce qui les en empêche ? De multiples raisons. Chez les uns, l'attention se lasse si vite qu'au bout de quelques instants, ils ne comprennent plus rien. Avant que le raisonnement soit terminé, les mots ont perdu pour eux toute valeur représentative, ils n'ont plus de sens.

Chez d'autres, la mémoire est insuffisante. Ils oublient le commencement du raisonnement avant qu'il soit achevé. Pour passer d'un syllogisme à l'autre, il faut parfois de longs détours. C'est une association d'idées nouvelles qui permet de transformer la conclusion du syllogisme précédent en prémisse pour le suivant. Leur esprit absorbé par ce travail perd de vue le point de départ, de telle sorte que l'ensemble du raisonnement leur échappe.

Quand il s'agit de retrouver une démonstration antérieurement comprise, la question se pose autrement. Seule la mémoire permet d'évoquer le passé, mais il y a bien des manières de se souvenir.

Les uns ont surtout la mémoire des signes et des symboles. Ils sont capables de les évoquer, mais comme des faits dépourvus de toute valeur représentative. Certaines personnes, par exemple, se rappellent les adresses, les numéros de téléphone, mais oublient l'affabulation d'un roman qu'elles viennent de lire.

Cette mémoire a quelques avantages, car il n'est pas une forme de mémoire qui n'en ait. Elle est très précieuse pour les hommes d'affaires, pour les joueurs de bridge, mais elle est de peu d'utilité au point de vue scientifique. Elle permet de retenir les formules mathématiques, les valeurs numériques, mais non de comprendre l'esprit d'une démonstration. Ceux qui l'ont à l'état isolé sont des amoureux de détails. Ils se laissent facilement absorber par les petits points d'importance secondaire et sont incapables de s'élever aux vues d'ensemble.

On peut savoir les formules, les appliquer correctement sans rien comprendre aux mathématiques. La mémoire que l'on appelle souvent la mémoire verbale, qui est en réalité la mémoire des signes pour eux-mêmes, indépendamment de leur valeur

représentative, si elle a quelques petits avantages, a aussi de graves inconvénients. Elle conduit à employer des symboles sans souci des idées qu'ils représentent, et c'est là une des plus fâcheuses habitudes d'esprit.

J'ai entendu des gens éminents se demander si les mathématiques sont une bonne école de raisonnement. Par la sûreté du point de départ, par la précision des définitions, par la généralité des notions, les mathématiques permettent de longues séries de déductions qui sont les meilleurs et les plus beaux exemples de logique.

Cependant, ceux qui posent la question précédente y répondent par la négative. Ils ne sont pas tous conduits par la même raison.

Les uns envisagent les mathématiques comme une série de formules qu'on apprend par cœur. Ainsi comprises, elles ne sont certainement pas une école de raisonnement, car la langue mathématique permet de supprimer le raisonnement. Pour savoir, par exemple, la vitesse acquise par un corps qui tombe d'une hauteur déterminée, il suffit d'appliquer une formule. Celui qui sait la formule arrive en un instant à un résultat certain et précis. Il peut l'appliquer sans aucun effort d'intelligence et même sans rien comprendre à la loi de la chute des corps. Mais il ne fait pas de mathématiques, il ne fait que du calcul, ce qui est bien différent.

D'autres sont très frappés de ceci, que les personnes dont l'éducation est purement mathématique font souvent des raisonnements qui semblent un défi au bon sens. Il est surprenant, mais cependant facile à expliquer, que des esprits habitués à des raisonnements impeccables en fassent parfois de si mauvais sur les questions auxquelles les mathématiques ne s'appliquent pas encore.

Pour servir de point de départ à un syllogisme, il faut au moins une bonne définition, et il s'agit ici de définition de rapports, de relations. Cette notion simple est à ce point méconnue que l'on a pris souvent comme exemple de syllogisme un truisme qui n'a de syllogistique que la forme et dont le point de départ est une proposition inféconde, parce qu'elle n'est pas une définition. D'autre part, les définitions ont une fécondité syllogistique d'autant plus grande qu'elles sont plus générales. Les mathématiciens, habitués à des notions fécondes par leur précision et leur généralité, croient en trouver de pareilles là où il n'en existe guère, en biologie, en pathologie, par exemple, et ils prennent comme prémisses de petits faits qui ne légitiment aucune conclusion. Puis, pour enchaîner les syllogismes, ils ont recours à des associations d'idées d'une fantaisie extraordinaire.

La seule discipline qui puisse régler les associations habituelles des idées est la discipline expérimentale. Elle seule peut diriger l'imagination en obligeant toujours à comparer les idées avec les faits, à collationner la pensée avec la réalité.

*
* *

Le rôle de l'induction est énorme, même dans les démonstrations mathématiques. Est-ce à dire que l'on ait tort de qualifier les sciences mathématiques de sciences déductives? Nullement.

Aucune science ne peut se passer de l'induction. Mais une science déductive n'est pas une science où l'on ne se sert pas de l'induction, c'est une science où, avec l'aide de l'induction, la déduction, en s'appuyant sur des notions expérimentales très générales, arrive à des conclusions certaines sans qu'on

soit obligé de faire de nouveaux appels à l'expérience.

L'acoustique offre même l'exemple d'une science qui a été constituée par la déduction en partant d'une hypothèse. « La conception des vibrations, dit A. Comte, est une conception rationnelle qui a permis d'édifier l'acoustique avant qu'on ait enregistré une vibration. On avait bien compté les vibrations lentes des cordes, mais les vibrations de l'air étaient purement hypothétiques. » L'hypothèse des vibrations, en donnant une base à l'analyse mathématique, a permis de pousser très loin certaines parties de l'acoustique sans qu'il fût besoin de recourir à l'expérience.

Dans les sciences qui ne sont point arrivées à des notions assez précises ni assez générales pour servir de point de départ à la déduction, la démonstration logique est sans valeur. Le raisonnement ne conduit qu'à des hypothèses qui doivent être soumises à l'expérience. La démonstration ne peut être qu'expérimentale.

Au point de vue de l'enseignement, c'est une grosse question de savoir si, dans un exposé didactique, on doit partir de la loi pour aboutir à l'expérience qui la démontre, ou s'il vaut mieux partir de l'expérience pour aboutir à la loi qu'elle sert à établir. Ces deux méthodes d'exposition ont des avantages.

Si l'on peut montrer les associations d'idées qui ont conduit à concevoir l'hypothèse, c'est-à-dire à deviner la loi que l'expérience a montrée vraie, la première méthode est excellente. Mais, dans les cas où l'expérience seule a conduit à la loi, il me semble bien préférable de partir de l'expérience pour montrer comment on arrive à la formule.

Pour façonner des cerveaux, ce qui doit être le

grand but de l'enseignement, il faut toujours préférer la méthode qui permet d'éduquer en même temps que d'instruire.

*
* *

Le syllogisme ne suffit pas pour mener à bien une démonstration un peu compliquée. Son rôle est encore bien moindre dans la découverte.

La déduction ne peut conduire à rien qui soit vraiment nouveau. C'est l'induction qui est l'âme de la découverte. C'est la puissance d'association des idées qui fait la force d'un cerveau.

On emploie parfois le mot invention dans le sens de découverte. Ainsi, H. Poincaré a écrit un article sur l'invention mathématique. Le mot invention semble supposer que l'on crée par la force de son esprit la notion à laquelle on arrive. Celui qui trouve des relations nouvelles entre les nombres doit avoir vraiment l'impression de les créer, car rien dans la nature ne les révèle avant qu'on les ait aperçues. Mais, en réalité, ils existent implicitement dans la série des nombres. Celui qui les découvre ne les crée pas : il les aperçoit et les rend explicites. Le mot invention ne devrait s'appliquer qu'à des machines, des instruments qui utilisent les forces naturelles par des artifices qui ne sont pas réalisés dans la nature. Les machines à feu, la machine de Gramme, le téléphone sont des inventions.

La conquête de vérités scientifiques nouvelles est toujours une découverte.

Il y a deux ordres de découvertes. On découvre des faits nouveaux ou des relations nouvelles.

La découverte de faits nouveaux est bien plus retentissante. Tout le monde peut comprendre en quoi elle consiste, et chacun est stupéfait d'appren-

dre qu'il existe des substances ou des êtres qui avaient échappé à la sagacité des chercheurs. Au contraire, les lois nouvelles, surtout celles que l'on découvre maintenant, ne peuvent être comprises que d'un petit nombre d'hommes. Le grand public n'en saisit pas l'importance.

La découverte de faits nouveaux est parfois due à une coïncidence fortuite, à ce qu'on appelle le hasard, mais le hasard n'y suffit pas. Il faut savoir observer et interpréter. Si Rœntgen n'avait pas oublié de vieilles plaques photographiques dans un tiroir, l'occasion lui aurait manqué d'observer l'action qu'ont sur elles les radiations produites par les rayons cathodiques. Mais un autre que Rœntgen n'aurait peut-être pas su interpréter le fait et les rayons X seraient encore inconnus. Comme le disait A. Comte, il y a plus de faits à observer que de gens capables de les bien observer.

On admettait avant Ramsay que l'air était uniquement composé d'azote, d'oxygène et de faible quantité d'acide carbonique. Ramsay, après avoir extrait la totalité de l'oxygène et de l'acide carbonique, constate que le gaz qui reste n'a jamais la même densité que l'azote préparé par voie chimique. Ce fait pouvait suggérer bien des hypothèses. Ramsay se demande si l'air ne renferme pas d'autres gaz que l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique, et c'est en les cherchant qu'il trouve l'argon.

Puis, ayant découvert plusieurs gaz, hélium, néon, argon, xénon, qui sont tous monoatomiques et inertes, il compara leur poids atomique et se reportant aux tables de Mendeléeff, il constata que la série n'était pas complète et pensa qu'il devait exister un autre gaz intermédiaire à l'argon et au xénon. Il chercha longtemps ce gaz inconnu, mais prévu. Il le chercha dans des substances minérales,

dans des roches rares. Comme il le dit lui-même, il était dans la situation d'un homme qui cherche partout ses lunettes alors qu'il les a sur le front. Ce gaz, le crypton, existe dans l'atmosphère, où il l'a mis en évidence.

Comment avait-il été conduit à le prévoir? Il fallait pour cela qu'il eût confiance en certaines notions d'un caractère hautement scientifique, mais qui sont cependant encore très vagues. Elles reposent à la fois sur des constatations expérimentales et sur une sorte de sentiment de symétrie qui est peut-être le résultat d'une adaptation cérébrale très raffinée et inconsciente. Les chimistes ont été frappés depuis longtemps des analogies de certains corps. Ces analogies avaient conduit Dumas à concevoir les familles chimiques. En rangeant les corps d'une même famille par ordre de poids atomiques croissants, on constate dans ce classement une certaine périodicité qui se retrouve dans toutes les familles. C'est ainsi qu'a été dressée la table de Mendeléef. Cette table est incomplète; elle présente des lacunes, ou plutôt des places d'attente, car les corps découverts depuis qu'elle a été dressée sont venus s'y ranger naturellement. Ramsay avait confiance dans cette sorte de périodicité symétrique des corps simples, et c'est pour cela qu'il a cherché avec acharnement celui qui manquait dans la série des gaz monoatomiques.

On serait bien embarrassé de faire la part, dans son travail mental, de l'induction et de la déduction, mais il est bien certain qu'il était d'un caractère scientifique très élevé et que le hasard n'a été pour rien dans la découverte du crypton.

La découverte des substances radio-actives a quelques points communs avec celle des rayons X. Niepce de Saint-Victor, en 1867, bien avant que les

rayons X fussent connus, constata que les sels d'urane impressionnent les plaques photographiques, mais il attribua le fait à la phosphorescence des sels et passa à côté de la vérité. Becquerel établit, en 1896, que les sels uraneux, qui ne sont pas phosphorescents, impressionnent cependant les plaques photographiques, et il établit que tous les composés d'urane ont une propriété radiante indépendante de la phosphorescence. La nature de ces radiations restait tout à fait obscure. Dès 1897, Gustave Le Bon affirme qu'elles se rapprochent des rayons X et que, bien loin d'être spéciales à l'uranium, elles sont une propriété générale de la matière.

M. et Mme Curie entreprirent de rechercher si les radiations de l'uranium n'étaient pas communes à beaucoup d'autres substances. Au cours de leurs recherches, ils constatèrent que certains minerais d'urane appelés pechblende ont une radio-activité bien supérieure à celle qui correspondrait à leur teneur en urane. De là, ils conclurent que la pechblende contenait une substance incomparablement plus radio-active que l'uranium, et ils entreprirent de la trouver. Pour y réussir il fallait imaginer une méthode de recherches. Voici en quoi consiste celle qu'ils ont employée. On mesure à l'électromètre la radio-activité d'un minerai, puis on le sépare chimiquement en plusieurs composés. On reprend les divers produits obtenus et on mesure à nouveau leur radio-activité. On élimine ceux qui ne sont pas radio-actifs ; on procède à de nouveaux fractionnements sur ceux qui le sont, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on soit arrivé à isoler une substance pure, ou à peu près.

Pasteur est passé de la dissymétrie moléculaire aux microbes. C'est une étape bien extraordinaire, qui ne pouvait être franchie que par une intuition

géniale. Pasteur pensa que la dissymétrie moléculaire devait être produite par le fonctionnement d'êtres vivants. Pour trouver ces êtres vivants, il fallait encore imaginer toute une méthode de recherches, la technique microbiologique.

La découverte de faits nouveaux nécessite un ensemble très complexe. Une association nouvelle d'idées fait deviner leur existence. Puis il faut la constater, et elle ne peut l'être que par des travaux techniques très délicats, ou même par de nouvelles méthodes de recherches.

*
* *

La découverte de relations inconnues entre des faits connus passe par les mêmes phases d'hypothèse et de vérification. Dans les mathématiques, la vérification expérimentale est remplacée par la démonstration déductive.

H. Poincaré, en racontant ses propres découvertes, a bien montré le rôle considérable du travail cérébral inconscient. Orienté par l'habitude, le cerveau continue à travailler le problème en dehors de toute conscience et arrive à la solution qui se présente brusquement à la conscience comme une inspiration. Il n'y a pas de mythe qui contienne plus de vérité que celui qui fait naître Minerve tout armée du cerveau de Jupiter.

Ce travail inconscient n'est pas le propre des cerveaux de génie : il se produit dans les cerveaux les plus médiocres. C'est là ce que constate le proverbe « la nuit porte conseil ».

Quelles sont les qualités de ces cerveaux merveilleux capables de découvrir des relations nouvelles entre les phénomènes? Ils ont la curiosité, ils ont l'ardent désir de pénétrer plus avant dans la

connaissance de la nature, ils ont la force d'attention, la sagacité dans l'observation ; ils ont une mémoire suffisante pour évoquer d'un coup un grand nombre de faits et les envisager d'ensemble. Mais tout cela n'est pas suffisant. Ils sont mieux adaptés que les autres, c'est-à-dire qu'ils ont l'intuition coordonnée des notions exogènes. Leurs idées s'associent conformément aux phénomènes, même, et je dirais volontiers, surtout à leur insu.

H. Poincaré a fait remarquer que jamais le travail inconscient ne fournit tout à fait le résultat d'un calcul un peu long. Cette remarque est très intéressante. On sait d'ailleurs que, Gauss mis à part, les calculateurs célèbres n'étaient pas des savants, et l'adaptation cérébrale numérique, si tant est qu'elle puisse exister, n'a pas d'intérêt au point de vue scientifique.

L'adaptation, qui a pour résultat l'intuition d'idées correctement coordonnées, tient presque autant du sentiment que de l'intelligence.

H. Poincaré fait jouer un grand rôle à la sensibilité dans « l'invention mathématique ». — « On peut s'étonner, dit-il, de voir invoquer la sensibilité à propos de démonstrations mathématiques qui, semble-t-il, ne peuvent intéresser que l'intelligence. Ce serait oublier ce sentiment de la beauté mathématique, de l'harmonie des nombres et des formes, de l'élégance géométrique. C'est un vrai sentiment esthétique que tous les vrais mathématiciens connaissent. Et c'est bien là de la sensibilité. »

Les grandes lois qui régissent le monde donnent à ceux qui les comprennent une impression d'ordre, d'harmonie, de beauté incomparable. Elles sont la source de jouissances incontestablement artistiques.

On a tort et raison à la fois d'opposer l'Art et la

Science. On a raison en ce sens que le domaine de l'Art est tout à fait différent de celui de la Science. L'un utilise les idéés endogènes, l'autre les idées exogènes. Mais le travail intellectuel du savant n'est pas si différent de celui de l'artiste. On pourrait dire, sous une forme sans doute paradoxale, que l'Art est la science des idées endogènes, et que la Science est l'art des idées exogènes.

On pense en général que l'imagination ne joue pas de rôle dans la science.. On entend souvent dire d'un jeune homme qu'il a trop d'imagination pour faire un savant. Il serait sans doute plus juste de dire qu'il n'en a pas assez, car elle joue un rôle capital dans la science. Si l'on veut se rendre compte de la force d'imagination des savants par rapport à celle des poètes, que l'on compare les cosmogonies antiques à la cosmogonie actuelle. Les cosmogonies anciennes, œuvres des poètes chinois, indiens, juifs, égyptiens, grecs, ne sont que d'enfantines puérilités à côté de l'astronomie scientifique.

Qu'on ne dise pas que les poètes concevaient le monde, tandis que les savants n'ont fait que le découvrir. Non, les uns et les autres cherchaient une conception qui satisfît leur esprit. Le poète brahmane qui a conçu le monde comme une boule portée par un éléphant qui s'appuyait lui-même sur une tortue, faisait un effort du même ordre que celui qui a conduit Newton à découvrir la loi de gravitation; il cherchait à expliquer la stabilité du monde. L'éléphant représentait pour lui le maximum de la force, et la tortue le maximum de la solidité. Pour Newton la force était liée à la matière et l'élément de stabilité était une relation, une loi. Pour trouver la force et sa loi, il fallait la concevoir d'abord. L'intuition par laquelle il s'est élevé à cette

conception est un acte d'imagination très comparable à celui du poète.

Mais le poète n'a qu'à se complaire dans ses conceptions pour leur donner une forme magnifique. Au contraire, la conception imaginative du savant n'est qu'une hypothèse, et il lui faut chercher si elle est conforme à la réalité. Avant d'affirmer que tout se passe comme si les corps s'attiraient en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré de leur distance, Newton dut faire d'innombrables calculs. Il fit les premiers en partant d'un méridien terrestre inexactement mesuré, de telle sorte que leurs résultats ne cadraient pas avec sa conception. Lorsqu'une nouvelle mesure du méridien terrestre eut été exécutée, il reprit ses calculs, et c'est alors seulement qu'il put établir que son hypothèse était d'accord avec la réalité.

Ce qui donne au cerveau l'impression de beauté, c'est son adaptation au monde extérieur. La jouissance esthétique est une sorte de phénomène de résonance. De même qu'un son fait vibrer à distance une corde convenablement tendue, de même l'énergie venue du dehors fait fonctionner plus vigoureusement la cellule cérébrale qui lui est adaptée. La jouissance qu'éprouve un enfant à contracter ses muscles a les mêmes raisons que le plaisir artistique. L'une et l'autre sont dus à une fonction qui s'effectue avec intensité suivant le chimisme propre de l'organe : c'est une assimilation fonctionnelle régulière.

Pour bien faire comprendre ma pensée, j'emploierai une comparaison qui sera peut-être un jour une explication. J'ai essayé avec M. Laucien d'étudier l'influence des diverses vibrations lumineuses sur les mouvements des grains colloïdaux. Les rayons ultraviolets coagulent les colloïdes à gros grains. Il nous

a semblé, d'autre part, que l'amplitude des mouvements des grains de certains colloïdes métalliques était modifiée par les divers rayons lumineux. Pour quelques-uns elle augmentait sous l'influence de la lumière jaune. On peut concevoir que des excitations venues de l'extérieur, adaptées au rythme des colloïdes vivants, augmentent l'amplitude de leurs mouvements, tandis que d'autres la diminuent. Le plaisir, la joie ne sont peut-être que la danse par résonance des colloïdes protoplasmiques du cerveau.

L'impression d'ordre, d'harmonie que nous causent les lois scientifiques vient d'une adaptation du cerveau, qui est elle-même le résultat de l'assimilation fonctionnelle. C'est parce que le cerveau est bien adapté à la Nature que la Nature lui paraît harmonieuse. C'est la ressemblance qui nous charme. Les amants de la Science sont comme les femmes qui se complaisent à se regarder dans un miroir, ou bien comme les théologiens qui admirent le dieu qu'ils ont conçu à leur image.

La jouissance scientifique est d'autant plus grande que l'adaptation est plus parfaite. Les savants de génie doivent éprouver des joies incomparables.

CHAPITRE II.

Le Hasard.

SOMMAIRE. — Le hasard est une loi. — Caractères des faits qui rentrent dans l'étude du hasard.

L'homogénéité des longues séries de faits homologues. — Théorème de Bernoulli. — La loi de constance. — Définition du hasard.

Hasard et coïncidences.

Probabilités. — Espérance mathématique.

Impossibilité arithmétique des longues séries du même coup dans les jeux de hasard.

Les loteries.

Calcul et statistique. — Les moyennes.

Le calcul des probabilités et la voie lactée.

Théorie cinétique des gaz.

Conception du principe de causalité. — Le hasard et le déterminisme.

Pendant bien longtemps, toutes les questions relatives au hasard m'ont causé un malaise pénible. En disant comment je suis sorti de cet état d'angoisse, je libérerai peut-être quelques amis inconnus torturés par la même préoccupation qui m'étreignait jadis. Le hasard m'apparaît aujourd'hui comme une loi, la plus générale de toutes les lois. Il est devenu pour moi un mol oreiller comme celui qu'au dire de Montaigne l'ignorance et l'incuriosité pourraient seules fournir; mais, c'est un oreiller scientifique.

H. Poincaré a défini le hasard « la mesure de notre ignorance ». J'espère montrer que c'est une forme

de notre connaissance. Le hasard peut servir de base à toute la science; c'est une modalité du déterminisme, car s'il est choquant de dire qu'il y a des lois du hasard, il est tout à fait vrai d'affirmer que le hasard est une loi.

Les hommes cherchent involontairement une raison aux phénomènes qui semblent livrés au hasard. Ceux dont l'esprit est sans méthode en trouvent aisément une qui les satisfait. Comme ils envisagent les phénomènes au point de vue humain, c'est la chance ou la malchance, la veine ou la déveine. Ils conçoivent une sorte de divinité puissante qui, favorable aux uns, hostile aux autres, dirige les événements suivant ses préférences. Cette interprétation fétichiste ou métaphysique ne peut satisfaire les cerveaux habitués à une bonne discipline.

Chez ceux-là, l'observation des relations constantes entre les phénomènes a si fortement imprimé le principe de causalité, qu'ils traitent les questions de hasard avec la logique causale. Ils leur appliquent une méthode qui ne leur convient pas, et cette erreur de méthode engendre les obscurités angoissantes du problème du hasard.

On ne s'entend même pas sur la nature des faits qui doivent rentrer dans l'étude du hasard.

Une tuile tombe d'un toit et fracture le crâne d'un passant. C'est une coïncidence qui ne peut fournir matière à aucune étude scientifique. L'orientation causale de l'esprit humain fait chercher là une loi. Ce qui frappe, c'est l'événement dramatique, la mort du passant. C'est bien certes la tuile qui l'a tué, et il y a un rapport de causalité entre la chute de la tuile et sa mort. La tuile, d'autre part, a obéi en tombant à la loi de gravitation, mais il n'y a aucun rapport de causalité entre la mort du passant et le fait que la tuile est tombée juste au moment de son

passage. Ce n'est pas parce qu'il passait que la tuile est tombée, ni parce que la tuile est tombée qu'il passait. Ce sont des événements indépendants qui ont malheureusement coïncidé. Il n'y a pas là d'objet d'étude scientifique.

Pour qu'il y ait un objet d'études, il faudrait que la question fût posée autrement, de la manière suivante. Il tombe de tel toit tant de tuiles par jour. Il passe tant de passants à telle vitesse dans la zone de chute. Avec ces données, on pourrait établir le pourcentage des passants blessés. Si l'étude statistique avait porté sur un temps très long, par conséquent sur un très grand nombre de faits, on pourrait en tirer des conclusions et dire : « Dans ces conditions, il y a tant de passants qui sont atteints ». Je reviendrai sur la méthode statistique; mais il ressort déjà de ces quelques considérations que le mot hasard, dans son sens scientifique, ne doit s'appliquer qu'à des faits qui se reproduisent en séries nombreuses.

Les mêmes considérations s'appliquent au cas de l'équilibre instable d'un cône sur sa pointe. « Nous savons bien, dit H. Poincaré, qu'il va tomber, mais nous ne savons pas de quel côté : il nous semble que le hasard seul va en décider. » Ce qui va décider du sens de sa chute, c'est son défaut de symétrie, c'est une irrégularité du sol, c'est une trépidation, c'est un souffle d'air. Le sens de la chute sera déterminé par des lois physiques, comme la chute de la tuile était déterminée par la gravitation. La difficulté de le prévoir vient de la complexité des phénomènes. Si l'on attache une valeur particulière au sens de cette chute, si par exemple on a établi une règle de jeu d'après laquelle il fera perdre l'un et gagner l'autre, il n'y aura aucune relation causale entre le phénomène et le résultat qu'on en tire. Là encore,

si on redresse le cône sur sa pointe un très grand nombre de fois, on pourra étudier le sens de sa chute par la méthode statistique et tirer des conclusions de cette étude.

Ce qu'on appelle les lois du hasard, ou si l'on préfère, les probabilités, ne peuvent s'appliquer qu'à des séries très nombreuses de faits du même ordre.

*
* *

De quoi sont tirées les probabilités? Uniquement de ceci que, dans les séries très longues, les diverses variétés de faits possibles se produisent dans une proportion constante ou, en d'autres termes, que les séries très longues sont homogènes. On retrouve là le caractère d'homogénéité que j'ai déjà envisagé à propos de l'espace, du temps, des nombres. C'est le caractère qui légitime les mesures.

S'il se retrouve dans les longues séries de faits homologues, ces séries présentent quelque chose de mesurable et le calcul peut leur être appliqué. Si les longues séries ne sont pas homogènes, aucun calcul n'est raisonnable.

Les longues séries de faits homologues sont-elles homogènes? Voilà toute la question.

Comment la trancher? On peut le faire expérimentalement. On peut jouer un très grand nombre de coups de pile ou face, de rouge ou noire, et voir si les piles et les faces, si les rouges et les noires s'équilibrent.

Dans le jeu de dés, le problème est un peu moins simple. On jette deux dés en l'air. Les points marqués sur la face de chaque dé qui regarde le ciel après la chute font un total, c'est le total qui compte. Le minimum possible est 2, le maximum possible est 12. Les totaux formés par l'addition des

points des deux dés sont toujours entre 2 et 12. Les combinaisons qui peuvent réaliser chacun de ces totaux ne sont pas en nombre égal. Le total 2 ne peut être réalisé que par une combinaison 1 et 1. Le total 7 peut être réalisé par trois combinaisons : $1+6$, $2+5$, $3+4$. Si les deux dés sont colorés différemment, de façon que l'on puisse tenir compte du dé qui marque 1, 2 ou 3, le nombre des combinaisons qui donnent 2 devient 2 et celui des combinaisons qui donnent 7 devient 6. Il y a trois fois plus de combinaisons donnant 7 que de combinaisons donnant 2. On devra donc chercher si dans les très longues séries il y a trois fois plus de coups 7 que de coups 2.

Si l'on constate que, pour de longues séries, les piles et les faces, les rouges et les noires sont en nombre égal, que dans le jeu de dés les différents coups possibles restent dans la même proportion, celle qui est prévue, en se servant du principe d'induction, c'est-à-dire de la tendance naturelle à généraliser, on conclura qu'il en est toujours ainsi : conclusion sans doute légitime, mais qui pourra être discutée par ceux qui n'ont confiance que dans la logique.

Ceux-là auront une ressource, le théorème de Bernoulli, dont je parlerai tout à l'heure. Mais il en est une autre.

Voici une longue série de faits homologues, par exemple une longue série de coups de pile ou face. Quel en sera le dénombrement? Je suppose que nous ne sachions rien du tout, si ce n'est qu'il existe un principe de causalité et un principe de contradiction.

Faisons toutes les hypothèses possibles sur le résultat du dénombrement. On ne peut en trouver plus de trois. Il n'y a que trois possibilités.

1° Ou bien les coups pile l'emporteront de beaucoup sur les coups face. Personne alors n'hésitera à conclure, appliquant le principe de causalité, qu'il y a une raison — une cause — à la prédominance des coups pile, et on cherchera cette cause, c'est-à-dire la loi du phénomène. Dans ce cas particulier, on n'hésitera pas à conclure que la pièce qui a servi au jeu n'est pas symétrique, pas plus qu'on n'hésiterait à conclure, d'un joueur d'écarté qui retournerait toujours le roi, qu'il triche;

2° Ou bien les coups face seront beaucoup plus nombreux que les coups pile, et l'on cherchera encore la cause de leur prédominance;

3° Ou bien les coups pile et les coups face seront en nombres égaux, ou à peu près égaux.

Dans les deux premiers cas, il y a une loi de causalité. Si ni l'un ni l'autre n'est réalisé, il n'y a d'autre cas possible que le troisième envisagé. Ce qui revient au dilemme suivant : ou bien il y a une loi ou bien il n'y a pas de loi. S'il n'y a pas de loi, les deux variétés de coups possibles seront forcément en nombre égal. Dire qu'il n'y a pas de loi ou que les variétés de coups sont en nombre égal, c'est dire la même chose.

Avec le jeu de dés, le nombre des coups possibles est plus considérable, mais le même raisonnement est applicable. Il l'est à toutes les longues séries de faits homologues. On arrive toujours à la même conclusion, dont voici la forme la plus générale :

Dans les très longues séries de faits homologues, si aucune loi de causalité n'intervient, les divers coups possibles sont en proportion déterminée. Ou bien, dans les longues séries égales de faits homologues, les divers coups possibles sont en même nombre. En d'autres termes, les séries sont homogènes, parce que si elles ne l'étaient pas, c'est

qu'une loi de causalité interviendrait : il y aurait contradiction.

Ainsi l'homogénéité des longues séries est une nécessité absolue qui découle de l'absence de loi causale. L'homogénéité prend le caractère de nécessité d'une loi, mais d'une loi où la causalité n'intervient pas.

Dans tous les cas où n'intervient aucune loi de causalité directe, intervient une loi d'un autre caractère qu'on peut appeler la loi de constance. D'où cette conclusion d'apparence paradoxale : l'absence de loi est une loi.

L'apparence paradoxale tient à ce que, dans l'esprit humain, la notion de loi éveille toujours l'idée de cause. Or, ici la relation n'est pas d'ordre causale.

On est ainsi conduit à envisager un ordre de lois où la causalité n'intervient pas directement.

En disant : l'absence de lois causales directes a pour conséquence dans les longues séries de faits homologues la loi de constance, j'exprime non pas un paradoxe, mais une vérité nécessaire, une nécessité logique.

Le hasard est l'absence de lois causales directes dans les séries de faits homologues [1].

C'est, en somme, cette vérité que Bernoulli a cherché à démontrer analytiquement dans son fameux théorème. Bernoulli s'est proposé de démontrer que dans le jeu de pile ou face, par exemple, le nombre des coups pile et le nombre des coups face tend à se rapprocher de l'égalité quand le nombre de coups joués est très grand, ou, en d'autres termes, que pour un très grand nombre de

1. On applique souvent le mot hasard à l'un des faits d'une de ces séries. Le hasard ainsi compris est le hasard des joueurs. Je reviendrai sur cette question en parlant des probabilités.

coups il y a à peu près autant de piles que de faces, c'est-à-dire que la constance est réalisée.

Bernoulli part de ce fait qu'il existe des séries de pile ou face où le rapport des coups pile aux coups face est très voisin de $\frac{1}{2}$ et il démontre qu'à l'infini le rapport des coups est aussi voisin que l'on veut de $\frac{1}{2}$.

Le Dantec déclare que le théorème de Bernoulli n'est qu'un stratagème. En procédant expérimentalement, il constate qu'à partir d'un certain nombre de parties, les séries où le rapport des coups pile et des coups face est très voisin de $\frac{1}{2}$ [compris entre $\left(\frac{1}{2} + \varepsilon\right)$ et $\left(\frac{1}{2} - \varepsilon\right)$, ε étant aussi petit que l'on veut] sont de plus en plus nombreuses. Il y a toujours un nombre de coups au delà duquel le rapport de l'ensemble des coups est très voisin de $\frac{1}{2}$, et il conclut que le raisonnement de Bernoulli ne serait valable que si le nombre de coups était réellement infini. S'il en est ainsi, la démonstration suffit : la loi de constance est démontrée pour les grands nombres.

Il est donc légitime d'affirmer que l'absence de loi causale directe a pour conséquence l'homogénéité des longues séries. Le calcul des probabilités a une base solide.

*
* *

Avant d'aller plus loin, je dois revenir sur la notion fondamentale qui m'a servi de point de départ. L'étude scientifique du hasard porte seulement sur les séries.

Quand on parle du hasard, la plupart des hommes pensent à des coïncidences extraordinaires. Un chasseur voit passer un perdreau entre un bois et lui. Il tire le perdreau, le manque, mais tue un ramier perché dans un arbre et qu'il n'avait pas vu. C'est là le type des événements que l'on attribue au hasard. La mort du ramier résulte d'une coïncidence comme la mort du passant qui reçoit une tuile sur la tête. C'est parce qu'ils pensent à des faits de ce genre que bien des gens éprouvent une sorte de révolte à entendre parler de lois du hasard.

Ce n'est pas du tout ces phénomènes exceptionnels qu'on étudie sous le nom de hasard. Ce sont au contraire des phénomènes qui, bien loin d'être exceptionnels, se répètent un très grand nombre de fois dans des conditions homologues. La répétition en séries très nombreuses est la condition même qui permet de les étudier.

Certains de ces phénomènes ont pour les êtres humains des conséquences parfois très graves. On peut gagner ou perdre une fortune sur un coup de dés. Mais ces conséquences ne découlent pas directement des phénomènes eux-mêmes, elles découlent de conventions faites à leur sujet. Que l'on joue 100.000 francs, un sou ou rien du tout sur un coup de dés, le coup de dés n'est pas changé.

Les phénomènes soumis au hasard sont ordinairement très peu différents en eux-mêmes les uns des autres. Que les faces des dés tournées en haut soient marquées d'un point ou de plusieurs, que l'as de trèfle soit dans un jeu de cartes avant le valet de pique, c'est une différence physique très peu importante. Que la boule de la roulette s'arrête à 1 centimètre plus près ou 1 centimètre plus loin de son point de départ, pour le joueur c'est très important, car il perdra dans un cas et gagnera

dans l'autre, mais la différence matérielle est insignifiante.

Ce qu'on étudie sous le nom du hasard, c'est donc des phénomènes en général peu différents les uns des autres qui se reproduisent en longues séries dans des conditions similaires.

Les conditions de production des phénomènes sont similaires, mais non identiques. Si elles étaient identiques, de par le principe de causalité, les causes étant les mêmes, les effets seraient les mêmes aussi. Il y aurait une loi causale, le hasard n'aurait rien à voir. Si les conditions variaient dans des proportions énormes, la série des faits n'aurait point d'homogénéité. Les conditions des séries de faits soumis au hasard ne varient que dans de petites limites et elles sont si complexes qu'il est impossible dans chaque cas particulier de les analyser avec précision. C'est dans ce sens qu'on a pu dire que le hasard est la mesure de notre ignorance. Il faut bien remarquer que dès qu'interviennent des conditions mécaniques, il est très difficile pour des hommes de réaliser le hasard. C'est un travail très délicat de faire une bonne roulette. La moindre irrégularité, la plus petite dissymétrie a pour résultat d'arrêter la boule mobile sur un point plus souvent que sur les autres. Il est en somme très difficile de supprimer les causes et ceci montre bien que c'est l'absence d'action causale entre des phénomènes qui constitue le hasard.



Voyons maintenant comment on passe de la loi de constance à la probabilité. On le fait le plus souvent de la manière la plus indue et nous allons trouver dans ce paragraphe une extraordinaire accumulation d'absurdités.

Je jette en l'air une pièce de monnaie : elle retombera sur pile ou sur face : il n'y pas d'autre hypothèse. Deux éventualités seulement sont possibles et personne au monde ne peut savoir laquelle des deux sera effectivement réalisée. Personne n'a rien à dire sur ce sujet.

On veut cependant prévoir. Alors on divise le nombre de coups à jouer par le nombre des éventualités possibles. S'il s'agit de pile ou face et qu'on ne joue qu'un coup, le nombre des éventualités possibles est deux, et on écrit $\frac{1}{2}$. Qu'est-ce que représente ce rapport? Absolument rien en réalité. Ce coup sera pile, ou il sera face, on ne sait rien de plus.

Alors interviennent des mots irritants empruntés au langage des joueurs dont la mentalité est aussi opposée que possible à celle des savants. Le joueur dit : « J'ai une chance sur deux de gagner ». Il n'envisage jamais que la possibilité de gain, mais il pourrait aussi bien dire qu'il a une chance sur deux de perdre. Qu'on appelle cette prétendue chance une probabilité, cela ne lui donne pas un caractère scientifique. Quand il s'agit d'un cas isolé, le mot probabilité est dépourvu de sens.

Et on arrive à des expressions extraordinaires, on parle de probabilité subjective et de probabilité objective. La probabilité objective, c'est celle qui se réalise : on la connaît seulement quand le coup est joué, elle n'existe donc pas en tant que probabilité. Qu'est-ce qu'on entend par probabilité subjective? Si c'est la confiance que le joueur a dans sa veine, elle ne peut faire l'objet d'aucune étude scientifique. Si c'est celle qui résulte du calcul des probabilités, il est inutile de lui donner un nom spécial.

De la probabilité, on passe à l'espérance. C'est là ce qui intéresse le joueur. Il ne joue que parce qu'il espère gagner. Le mathématicien devrait se désintéresser complètement de cette espérance, mais il en est qui veulent la chiffrer; ils conçoivent une espérance mathématique qui est bien la chose la plus joviale qu'on puisse imaginer.

Borel dit : « On appelle espérance mathématique d'un joueur le produit de son gain possible par la probabilité qu'il a de le réaliser ». Il a bien raison d'ajouter : « On voit que l'espérance mathématique doit être considérée comme un vocable unique ayant un sens bien déterminé qu'on ne doit pas chercher à interpréter dans le sens usuel des deux termes, espérance et mathématique ». Autant vaudrait dire tout de suite que le vocable espérance mathématique n'a aucun sens. Et en effet Borel étudie l'espérance mathématique d'un joueur qui doit gagner 1.000 francs à pile ou face si deux coups consécutifs amènent tous les deux pile. Dans ce cas, l'espérance mathématique du joueur est 250. N'est-ce pas admirable? Le joueur peut perdre ou gagner 1.000 francs : il est parfaitement sûr, quoi qu'il arrive, de ne pas en gagner 250. C'est cependant le nombre qui représente son espérance mathématique. En vérité, il ne représente rien du tout.

*
* *

Une des questions les plus angoissantes est celle du rapport des coups passés avec les coups futurs. Laplace commence son traité des probabilités par l'affirmation que les coups antécédents n'ont aucune relation avec les coups suivants.

Il n'y a bien certainement aucun rapport de causalité. S'il y en avait un, on ne serait plus en pré-

sence du hasard. Dire qu'on s'occupe des séries où les coups successifs ne sont liés par aucun rapport de causalité, c'est simplement dire qu'on étudie le hasard.

Mais de ce qu'il n'existe aucune relation causale entre les coups passés et les coups futurs, est-il légitime de conclure qu'il n'y a pas de relation du tout? Non, évidemment, car affirmer qu'il n'y a pas de relation causale entre les coups successifs, c'est affirmer que ces coups ont un certain caractère d'où il résulte que les longues séries sont homogènes.

L'impossibilité des séries indéfinies du même coup est expérimentalement constatée; elle est établie logiquement, car si le même coup sortait indéfiniment, il y aurait une loi qui le ferait sortir. Cette impossibilité certaine force à conclure qu'il y a une relation entre les coups.

Ce raisonnement est très dangereux, car il peut facilement entraîner à des considérations téléologiques. Comme on n'est pas habitué à se représenter une relation qui n'est pas causale, on réintroduit la notion de cause là où elle n'a rien à voir, et on se laisse aller à penser que les coups se comportent d'une certaine façon pour réaliser l'homogénéité de l'ensemble. Et c'est là de la téléologie. Si je parle de cet état d'esprit, c'est que j'en ai été dupe moi-même, et que j'ai fait ainsi de la téléologie sans m'en apercevoir, bien que les causes finales soient aussi éloignées que possible de ma manière de penser habituelle.

Presque tous les joueurs sont convaincus qu'après une longue série d'un même coup, l'autre coup a plus de chances de sortir. Par exemple, à rouge et noire, si rouge sort dix coups de suite, ils sont convaincus que le onzième coup sera noire.

Si on leur demandait quelle est la longueur de la série qui doit être suivie d'un changement, ils seraient bien embarrassés pour répondre avec précision. Pratiquement, ils n'hésiteraient pas, si la rouge était sortie dix fois de suite, à mettre une grosse somme sur la noire pour le coup suivant, et par là, ils pourraient fort bien se ruiner, puisqu'on a vu des séries de 10, de 11 et même de 22 coups d'une même couleur. Quelle qu'ait été la série des coups antérieurs, la probabilité à rouge et noire reste 1/2.

Le joueur ne manquera pas de dire : « Si la probabilité du coup suivant n'est pas modifiée par les coups antécédents, comment se fait-il que les longues séries d'une même couleur soient si rares? Et c'est là, en effet, la question.

Un raisonnement très simple, qui s'appuie uniquement sur l'arithmétique, permet de s'en rendre compte. Voici ce raisonnement. Il est bien certain que toutes les longues séries de coups consécutifs d'une même couleur ont commencé par être des séries plus courtes. Toutes ont passé, par exemple, par l'état de série de 16 coups.

Supposons qu'il se soit produit 64 séries de 16 coups rouges, et voyons ce que sont devenues ces séries en admettant que la probabilité pour le coup suivant reste rigoureusement 1/2 et qu'elle se réalise.

Les 64 séries vont se ranger en deux groupes : un groupe de 32 dans lequel le dix-septième coup sera noire et qui, par conséquent, ne nous intéresse plus, et un groupe de 32 dans lequel le dix-septième coup sera rouge.

Les séries de 17 coups rouges, qui seules nous intéressent, ne sont plus qu'au nombre de 32.

Pour ces 32 séries, les choses se passent de

même. Elles se scindent en deux groupes : un groupe de 16 coups composé de 17 rouges plus 1 noire et un groupe de 16 coups composé de 17 rouges plus 1 rouge, soit 18 rouges.

Ces 16 séries de 18 coups rouges vont se scinder de la même façon en 8 séries de 18 rouges plus 1 noire, et en 8 séries de 19 rouges.

Les 8 séries de 19 rouges vont encore se diviser en 4 séries de 19 rouges plus 1 noire et 4 séries de 20 rouges.

Les 4 séries de 20 rouges se divisent à leur tour en deux groupes de deux séries dont l'une sera de 21 rouges.

Et enfin, ces deux séries de 21 rouges se diviseront en deux groupes comprenant seulement une série chacun, série qui sera pour l'un de 21 rouges plus une noire, et pour l'autre de 22 rouges.

Les chiffres du début, 64 et 16 (soixante-quatre séries de seize), ont été choisis parce que j'ai entendu dire que la plus longue série de rouges observée à la roulette de Monte-Carlo est de 22. Je n'ai pas besoin de faire remarquer que ce choix est arbitraire et que les constatations précédentes ne prouvent pas du tout que les séries de même couleur ne peuvent pas dépasser 22.

Mais les considérations précédentes expliquent la rareté des longues séries : elles montrent, et c'est en cela qu'elles ont une importance, que, la probabilité 1/2 se réalisant effectivement, la rareté des longues séries est imposée par les nécessités arithmétiques. Ainsi, l'absence de lois causales qui se traduit par la probabilité 1/2 a pour conséquence des nécessités arithmétiques. C'est ce que j'exprimais en disant que l'absence de lois est une loi.

La probabilité 1/2, qui est l'expression même de

l'absence de cause, entraîne des nécessités arithmétiques telles que toutes les séries qui ne sont pas des alternances régulières de rouge et de noire sont forcément limitées.

Il y a là quelque chose de comparable à une des lois de Gibbs et de Le Chatelier. Ces savants ont établi que toute perturbation physique qui survient dans un système entraîne des modifications qui limitent la perturbation. Ici, les nécessités arithmétiques limitent toutes les séries qui ont pour résultat de perturber la relation $\frac{1}{2}$ c'est-à-dire l'homogénéité de l'ensemble des coups très nombreux.

Pratiquement, les séries observées ne sont pas très longues.

* * *

Les loteries sont très comparables, suivant les cas, au jeu de pile ou face ou bien au jeu de dés.

Celui qui prend des billets demande des renseignements au calcul des probabilités qui ne peut lui en donner.

Je suppose qu'une loterie ait cent billets et que la même personne en ait cinquante. Est-ce dire quelque chose que d'affirmer qu'elle a cinquante chances sur cent de gagner le gros lot? Elle gagnera ou elle ne gagnera pas; c'est tout ce que l'on peut dire. Le gros lot échoit souvent au porteur d'un billet.

Seule dans les affaires de hasard, la loi de constance permet de prévoir.

Les amateurs de loterie sont, en général, des fétichistes parfaits qui demandent leurs inspirations à des circonstances futiles et sans relations avec la loterie elle-même. Mais quelques-uns cherchent s'il existe un rapport entre « leurs chances » et le nombre de billets qu'ils prennent.

Supposons une loterie de 10.000 billets avec dix lots. Les 10.000 billets sont répartis entre dix personnes qui en ont chacune 1.000. Ces dix personnes gagneront les dix lots, mais chacune d'elles en gagnera-t-elle le même nombre? On n'en sait rien. Il n'y aurait pas lieu d'être surpris si l'une d'elles gagnait cinq lots, une autre trois et une autre deux. Alors, cinq porteurs de 1.000 billets ne gagneraient rien. Et cependant, d'après le calcul des probabilités, leurs chances seraient égales. Mais le nombre des coups est trop petit pour que l'homogénéité puisse s'établir et c'est la condition nécessaire pour que la probabilité ait une valeur.

Il serait cependant tout à fait choquant de dire que le porteur de 1.000 billets est dans la même situation (j'évite le mot chance) que celui qui en a seulement dix.

Si on faisait la statistique de toutes les loteries du monde, on trouverait certainement que les porteurs d'un grand nombre de billets ont plus souvent gagné, non pas que l'ensemble des autres, mais que chacun des autres. Je dis plus souvent, je ne dis pas une plus grosse somme, car alors interviendrait la valeur des lots, et le nombre des faits n'est pas assez considérable pour que les énormes différences dues à la valeur des gros lots par rapport à celle des petits soit compensée.

Si, sur l'ensemble des loteries tirées dans le passé, les porteurs d'un grand nombre de billets n'avaient pas gagné plus souvent que ceux qui n'en ont qu'un, il y aurait une loi qui empêcherait les gros joueurs de gagner et les loteries ne seraient plus un jeu de hasard, ce qui est contraire à l'hypothèse. Elles seraient truquées.

Sur l'ensemble des loteries tirées depuis qu'on en tire, les numéros gagnants doivent se répartir

d'une manière uniforme sur la série des nombres, il doit y avoir autant de gagnants entre 1 et 1.000 qu'entre 1.001 et 2.000. Les joueurs, qui avaient chacun 1.000 billets consécutifs, ont gagné autant que tout l'ensemble de joueurs ayant 1.000 billets consécutifs par petits paquets. Comme les premiers sont moins nombreux que les seconds, ils ont gagné plus souvent. S'il en était autrement, les loteries n'auraient pas été loyales, on aurait triché dans le tirage. Il n'est donc pas juste de dire que les porteurs de 1.000 billets sont dans la même situation que les porteurs d'un billet. Mais à partir de quel nombre de billets le premier a-t-il une supériorité effective?

C'est une chinoiserie de vouloir le déterminer quand il n'y a qu'un seul lot. Si tous les billets étaient répartis entre deux personnes, de façon que l'une les ait tous moins un, et que l'autre n'en eût qu'un, ce serait peut-être cette dernière qui gagnerait.

Vouloir déterminer ce nombre quand les lots sont nombreux, c'est tomber dans l'insoluble question des limites.

C'est à l'organisateur de la loterie que le calcul des probabilités rend service. Les mathématiciens qui organisent des loteries périodiques, comme celle de Hambourg, s'en servent pour les régler de telle façon que les bénéfices soient assurés, à la condition qu'un très grand nombre de billets soient pris.

*
* *

Comment établit-on le calcul des probabilités? Il faut d'abord établir les possibilités, puis passer des possibilités aux probabilités.

On peut arriver aux possibilités par deux méthodes : le calcul, la statistique.

Dans certains cas, la statistique est nécessaire ; dans d'autres, on peut s'en passer.

Voici deux dés. Ils ont six faces : le nombre de points marqués sur chacune de leurs faces est connu. Les combinaisons qui peuvent être réalisées par leurs chutes sont limitées. Quelles sont-elles ? Je puis arriver à le savoir par la méthode expérimentale, c'est-à-dire par la statistique. Pour cela, je prendrai deux dés, je les placerai successivement dans toutes les positions possibles et je noterai ces positions. Le calcul peut me conduire au même résultat en un instant. Les coups possibles avec les dés n'étant pas nombreux, l'avantage du calcul sur la statistique n'est pas considérable.

Voici un paquet de 52 cartes, je les sépare en quatre paquets de 13 : c'est ce que l'on fait en « donnant » au jeu de bridge. Quelles sont les combinaisons possibles des quatre paquets ? On pourrait encore le déterminer par la méthode expérimentale. Mais le nombre des combinaisons possibles est si grand que le travail serait formidable. Le calcul conduit très vite au même résultat. Sa supériorité sur la statistique est énorme.

Si je veux savoir quelle est la mortalité de la fièvre typhoïde, le calcul seul ne peut me servir à rien ; il ne pourra me servir que secondairement quand j'aurai trouvé par la statistique des nombres auxquels il pourra s'appliquer.

Dans les deux premiers cas : dés, jeux de cartes, les valeurs numériques étaient fournies par les conditions mêmes des problèmes : on pouvait appliquer le calcul. Dans le troisième cas, mortalité de la fièvre typhoïde, il faut chercher d'abord les valeurs numériques par la statistique avant de pouvoir leur appliquer le calcul.

Dans les deux premiers cas, on peut donc se pas-

ser de la méthode statistique et établir par le calcul le nombre des possibilités. Cette première étape, le calcul des possibilités, ne renseigne pas directement sur la probabilité. Il faut faire un autre calcul pour arriver à la probabilité, c'est-à-dire pour trouver la constante.

Quand les possibilités sont très peu nombreuses, la constante est facile à trouver. Ainsi, dans le jeu de pile ou face, les possibilités sont au nombre de deux, la constante est forcément 1/2.

Dans le jeu de dés, une autre considération intervient. Les divers coups possibles sont réalisés par des combinaisons différentes et qui ne sont pas en nombre égal pour tous les coups. Le total 7 est réalisé, nous l'avons vu, par plus de combinaisons que le total 2. Dans une longue série de coups, le total 7 devra donc se trouver plus souvent que le total 2. Le rapport du nombre de combinaisons qui donne 7 au nombre total des coups possibles représentera la constante du total 7. C'est cette constante que l'on appelle la probabilité.

Ceci nous montre que le mot probabilité pourrait être banni du langage scientifique, et il y aurait grand avantage à le supprimer. Il représente, en effet, l'élément humain, le point de vue humain qui est diamétralement opposé au point de vue scientifique. J'ai déjà répété un grand nombre de fois qu'une notion vraiment scientifique est dépouillée de toute humanité, c'est-à-dire de toute idée endogène. C'est le mélange incessant de notions endogènes aux notions exogènes qui rend si troublante la question du hasard.

Le mot probabilité fait penser tout de suite à la chance, et Bernoulli, dans l'exposé de son fameux théorème, commence par considérer certaines séries comme favorables et d'autres comme défavorables.

Ces manières de parler donnent à un cours de calcul de probabilités les apparences d'un cours de martingale, et c'est ainsi que bien des gens le considèrent.

Le calcul des probabilités est une des formes les plus élevées de la science : ce sera peut-être sa forme définitive. Il serait très facile de le débarrasser de tout cet encombrement endogène qui le souille : il suffirait de le considérer comme ce qu'il est vraiment, le calcul des constantes dans les longues séries de faits homologues qui ne sont pas liés par des relations causales directes.

*
* *

La méthode statistique s'applique à des ensembles de faits dont les données sont si vagues qu'ils échappent d'abord aux prises du calcul. Ils paraissent par là même complètement indéterminés, et ce qu'il y a d'admirable dans cette méthode, c'est qu'elle conduit au déterminisme des faits qui semblent indéterminés. On en dit beaucoup de mal parce qu'on ne la comprend pas, ce qui conduit à l'appliquer indûment.

Voyons le problème de la longévité humaine. L'expérience grossière nous apprend que la durée de la vie des hommes est extrêmement variable, elle dépasse rarement cent années. Entre la naissance et cent ans, l'indétermination paraît absolue. Elle ne peut pas l'être, car s'il n'y a pas de loi qui fasse mourir un certain nombre d'êtres humains à un âge déterminé, il faut, il n'y a pas d'autre hypothèse possible, que la date de leur mort se répartisse dans une proportion constante sur la durée de cent ans.

Si l'on prend deux groupes de 100.000 hommes

nés le même jour et vivant dans des conditions homologues, dans les deux groupes le nombre des morts sera le même dans la première, dans la dixième, dans la cinquantième année : il sera le même dans chaque année. Quel sera-t-il? La statistique permet de le déterminer. Les 100.000 hommes seront répartis, si on compte par année, en 100 paquets, comme les cartes étaient tout à l'heure groupées en quatre paquets. Mais le problème n'est pas du tout le même. Dans le cas des cartes, on sait, c'est la condition du problème, que chaque paquet contiendra treize cartes et le problème est de savoir comment les paquets peuvent être constitués, quels peuvent être les groupements des cartes dans chacun d'eux.

Dans le cas de la longévité, il s'agit, au contraire, de savoir quel sera le nombre d'hommes compris dans chaque paquet, et non de savoir lesquels.

Quand on l'a déterminé par la statistique, pour 100.000 hommes, a-t-on le droit de conclure qu'il sera le même pour un autre groupe de 100.000 hommes? La question serait absurde si l'on supposait que les deux groupes ont des conditions de vie tout à fait différentes; que l'un des groupes fait la guerre et que l'autre ne la fait pas; que l'un des groupes est décimé par une épidémie à laquelle l'autre n'est pas exposé. Alors les faits ne seraient plus homologues, et les constantes ne pourraient s'établir.

Mais si les conditions de vie sont homologues, a-t-on le droit de conclure d'un groupe de faits à l'autre? Les gens qui prennent plaisir à douter de tout me diront : qu'appelez-vous conditions homologues? Evidemment, pour le genre de vie, je serais embarrassé de faire une réponse précise. Je pourrais dire que ce sont des conditions telles qu'au point de

vue de la longévité la science actuelle ne permet pas de les distinguer. Cette réponse ne paraîtrait pas suffisamment précise au demi-scepticisme qui est à la mode. Mais il se trouve qu'elle le serait encore trop, car les Compagnies d'assurances sur la vie ne font pas d'enquêtes sur le genre d'existence de leurs assurés, à moins qu'elles ne comportent des risques très particuliers. Elles se bornent à chercher si celui qui désire s'assurer est déjà atteint d'une maladie mettant ses jours en danger. S'il n'est pas malade, elles l'assurent, et réalisent des bénéfices certains, quand le nombre des assurés est suffisant.

Nous verrons d'ailleurs que dans les questions de physique, pour lesquelles le calcul des constantes présente actuellement son plus grand intérêt, la notion de conditions homologues est très précise.

Je reviens à la question : quand les conditions de vie sont homologues, a-t-on le droit de conclure d'un groupe de faits à l'autre? L'expérience répond affirmativement. Mais ce n'est pas seulement l'expérience qui donne ici le droit de généraliser. Il résulte, j'y reviens encore, de l'absence de loi causale directe. Puisqu'il n'y a pas de lois réglant la date de la mort, il y a forcément une moyenne constante. L'absence des unes implique l'autre : les séries sont forcément homogènes.

Pour 100.000 hommes non malades, âgés de cinquante ans, les barèmes des Compagnies d'assurances permettent de dire : ces 100.000 hommes ont ensemble tant d'années à vivre. Si les primes se payent tous les six mois, on ira plus loin et on pourra dire le total des demi-années qu'ils ont à vivre. Si les primes se payent tous les trois mois, on poussera la précision plus loin. En prenant un nombre d'hommes beaucoup plus grand, on arriverait à prévoir le

nombre de jours et peut-être d'heures qu'un groupe d'hommes a à vivre. Il n'y aurait rien d'impossible à ce qu'une Compagnie d'assurances réalisât des bénéfices en faisant payer les primes toutes les heures.

Sous une autre forme, à l'heure actuelle, les barèmes établis par les Compagnies d'assurances permettent de dire que sur 100.000 hommes bien portants, âgés de cinquante ans, tant seront morts dans six mois, tant dans deux ans, etc. La statistique établit une loi qui conduit au même résultat que la connaissance d'une loi causale : prévoir. C'est toujours la même conclusion, l'absence de loi causale a pour conséquence une loi d'un autre ordre, la loi de constance.

Mais cette loi de constance est une loi globale, et l'absurdité commence quand on veut en tirer des conclusions pour des cas particuliers. On sait qu'un million d'hommes bien portants, âgés de cinquante ans et vivant dans des conditions analogues, vivront ensemble tant d'années. Cela suffit aux Compagnies d'assurances. Elles n'ont aucun intérêt (le chiffre de l'assurance étant mis à part) à savoir quel est celui de ses assurés qui mourra au bout d'une heure, quel est celui qui vivra cinquante ans.

Pour l'assuré, le point de vue est différent. Il a un grand intérêt à savoir s'il vivra un, deux ou cinquante ans. Mais ni la statistique, ni le calcul ne lui permettent de le savoir.

*
* *

La méthode statistique conduit à établir des moyennes. Celles-ci rendent de grands services scientifiques.

Ainsi, par exemple, certaines observations très

délicates comportent inévitablement des erreurs. Ces erreurs peuvent être dues à un vice d'instrumentation ou de méthode. Elles sont alors systématiques et il faut trouver leurs causes. Mais quand la méthode et l'instrumentation sont bonnes, les erreurs sont dues à des contingences ou, si l'on préfère, au hasard : elles ne sont pas systématiques. Comment les corrige-t-on? En prenant la moyenne. Par des mensurations répétées, on arrive à des nombres voisins au lieu d'arriver au même nombre. Ces nombres sont assez voisins pour que l'ordre de grandeur soit déterminé et, dans bien des cas, cela est suffisant. Si l'on a besoin d'une précision plus grande pour introduire, par exemple, le nombre dans de nouveaux calculs, lequel prendra-t-on, lequel doit-on considérer comme le plus rapproché de la vérité? C'est le nombre représentant la moyenne des nombres trouvés. Il se peut très bien que ce nombre ne soit aucun de ceux auxquels a conduit l'observation; ce sera cependant la plus conforme à la réalité.

C'est toujours le même raisonnement et j'ai quelque honte à le répéter. Ou bien les erreurs sont systématiques et il faut en trouver la cause, c'est-à-dire la loi. S'il n'y a pas de loi, les erreurs ne sont pas systématiques. Les nombres oscillent autour du nombre véritable et la moyenne des nombres obtenus donne ce nombre avec une précision d'autant plus grande que les observations sont plus nombreuses.

C'est encore par le procédé des moyennes qu'on détermine, par exemple, le nombre des éléments tenus en suspension dans un liquide. Pour dénombrer les globules du sang, on dilue le sang dans un liquide qui n'altère pas ses éléments figurés. On étend la dilution sous le microscope en couche assez mince pour que les globules ne se superposent pas.

La lame de verre sur laquelle on étale le sang est divisée par un quadrillage en un certain nombre de carrés égaux. Compter tous les globules compris dans la préparation serait un travail très pénible, très long et fertile en erreurs. On se borne à compter les globules dans quelques carrés et on prend la moyenne. Un calcul très simple permet, en partant de cette moyenne, de déterminer le nombre des globules contenus dans un millimètre cube de sang : ce nombre oscille autour de cinq millions. On comprend qu'on n'en puisse guère faire la numération directe.

Quand la préparation est bien exécutée, il n'y a pas de raison pour qu'il y ait plus de globules dans un carré que dans les autres. Par conséquent, la moyenne des nombres voisins trouvés dans un certain nombre de carrés est une constante précise.

Perrin, dans ses très belles recherches qui lui ont permis de donner une mesure de la constante d'Avogrado, a déterminé par la méthode statistique le nombre des grains contenus à diverses hauteurs d'une colonne liquide.

*
* *

La loi de constance, qui a pour résultat l'homogénéité des longues séries de faits homologues, s'applique à tout l'univers; c'est pour cela que je disais, au commencement de ce chapitre, que le hasard est la loi la plus générale.

Les astronomes sont arrivés à cette notion que le ciel est homogène. Les étoiles — les soleils — sont tous du même ordre de grandeur, et ils sont répartis d'une manière uniforme. Si leur répartition nous paraît tout à fait irrégulière, c'est parce que nous ne sommes pas au centre du monde et aussi parce

que le monde n'est pas sphérique. Il a la forme d'une lentille ceinturée, dans sa partie la plus large, de deux anneaux inclinés l'un sur l'autre, qui correspondent à la Voie lactée. Si les astres sont pour nous bien plus nombreux dans cette direction, ce n'est pas qu'ils soient plus serrés, plus tassés : ils s'étendent sur une profondeur plus grande.

Dans les quelques exemples qui précèdent, il s'agit de constatations directes : c'est la méthode statistique qui est employée.

La loi de constance a d'autres applications où le calcul intervient seul en prenant pour point de départ des hypothèses. Quand les résultats des calculs ayant ce point de départ concordent avec l'expérience, la valeur des hypothèses est en quelque sorte consacrée.

C'est aux gaz qu'on a d'abord appliqué cette méthode de recherches, car les gaz sont la forme la plus simple de la matière.

On sait en quoi consiste la théorie cinétique des gaz. Elle repose sur l'hypothèse suivante : les gaz sont formés de molécules, distantes les unes des autres, qui se meuvent avec une grande rapidité suivant des trajectoires rectilignes. Dans les différents gaz, la masse et la vitesse des molécules varient inversement de telle façon que leur force vive, leur énergie cinétique est la même à une température donnée. En appliquant le calcul à cette hypothèse, on arrive au résultat que Mariotte avait atteint par l'expérience, c'est-à-dire que le volume d'une même masse gazeuse varie proportionnellement à la pression.

Si l'on ajoute une autre hypothèse, qui consiste à supposer que la chaleur augmente la vitesse des molécules et, par conséquent, leur énergie cinétique, le calcul conduit au résultat trouvé expéri-

mentalement par Gay-Lussac, c'est-à-dire la proportionnalité des volumes gazeux à la température.

Cette concordance apporte naturellement un appoint d'une grande importance à la conception moléculaire. Il y a d'ailleurs tout un faisceau d'arguments qui impose à l'esprit la réalité de la molécule, mais ce n'est pas sur ce point que je veux insister ici.

Admettons que les gaz sont réellement constitués de molécules animées d'une grande vitesse variant avec la température : qu'est-ce que le calcul établit? Il établit que dans ces conditions les volumes des gaz sont nécessairement proportionnels à la pression et à la température. Par là, les lois de Mariotte et de Gay-Lussac sont expliquées. C'est un très grand progrès.

Mais avant de voir comment ces lois sont expliquées, il faut se demander s'il est légitime de dire que dans les conditions supposées il y a forcément une proportionnalité entre les volumes, la pression et la température.

La certitude est basée sur la loi de constance, c'est-à-dire sur l'homogénéité des longues séries.

Théoriquement, la constance des longues séries s'établit seulement à l'infini. Pratiquement, cet infini est assez proche. Or, ici les nombres sont formidables. Un millimètre cube d'hydrogène renferme un nombre de molécules dont l'ordre de grandeur est de 36 millions de milliards. Avec des nombres pareils, on comprend que les séries exceptionnelles ne jouent plus de rôle et que les constantes prennent un caractère presque absolu. Les combinaisons de trajectoires des molécules dont l'ensemble a pour résultat la loi de Mariotte, sont extrêmement nombreuses : quelques-unes seulement pourraient donner un résultat différent.

Tous ceux qui portent quelque intérêt à la philosophie scientifique savent tout le plaisir de dilettante que H. Poincaré avait pris à jeter sur la science une sorte de discrédit. Or, voici ce qu'il a écrit à propos de ces combinaisons exceptionnelles : « Celles-là aussi se réaliseront, seulement il faudrait les attendre longtemps; si on observait un gaz pendant un temps assez long, on finirait certainement par le voir s'écarter, pendant un temps très court, de la loi de Mariotte. Combien de temps faudrait-il attendre? Si on voulait calculer le nombre d'années probables, on trouverait que ce nombre est tellement grand que, pour écrire seulement le nombre de ces chiffres, il faudrait encore une dizaine de chiffres ». Et plus loin : « J'ajoute, pour éviter une confusion, qu'il n'y a pas là non plus une évolution de la loi de Mariotte elle-même; elle cesse d'être vraie après je ne sais combien de siècles, mais, au bout d'une fraction de seconde, elle redeviendrait vraie et cela pour un nombre incalculable d'années ».

Ainsi au bout d'un nombre d'années qui est de l'ordre des milliards, puisqu'il faudrait dix chiffres pour l'écrire, d'après la théorie cinétique, la loi de Mariotte pourrait cesser d'être vraie, mais seulement pour une fraction de seconde. Après cette fraction de seconde, elle redeviendrait vraie pour autant de milliards d'années.

On voit à quel degré de certitude conduit la loi de constance pour les grands nombres.

Les lois de l'osmose, de la tension superficielle, de la cryoscopie semblent pouvoir être expliquées également par la théorie moléculaire cinétique, peut-être aussi les lois de la cristallisation.

Il faut remarquer qu'il n'a été question dans tout ceci que de la molécule, qui est bien loin d'être la

forme la plus simple de la matière. Au-dessous de l'échelle moléculaire, il y a l'échelle atomique, et au-dessous de l'échelle atomique l'échelle de l'électron. Si, au lieu de cheminer vers des éléments de plus en plus petits, on fait la route inverse vers des éléments de plus en plus grands, on trouve l'échelle colloïdale, à laquelle se passent les phénomènes vitaux, et enfin l'échelle de l'univers, à laquelle les soleils jouent le même rôle que les molécules dans une bulle de gaz.

Il est certes impossible de dire avec précision comment la loi de constance des grands nombres pourra s'appliquer à toutes ces échelles, mais les applications déjà faites aux gaz, aux solutions, à l'univers envisagé comme une bulle gazeuse, permettent d'entrevoir qu'elle fournira une explication générale.

***

Le point le plus important, au point de vue philosophique, est la nature de cette explication.

Imaginons un observateur de dimensions beaucoup plus petites que les molécules et doué de sens assez subtils pour les voir : plaçons-le dans une bulle de gaz. Ahuri par le mouvement désordonné de molécules innombrables, il aura des impressions comparables à celles d'une fourmi prise dans un tourbillon de grêle ou d'un homme regardant la Voie lactée. Tout lui paraîtra chaotique. Cependant ce chaos a pour résultat une harmonie.

Un ensemble de faits extrêmement nombreux a nécessairement un ordre. Il ne peut échapper à la loi causale que pour rentrer dans la loi de constance. C'est là une nécessité logique d'un caractère absolu.

Et en vertu de la loi de constance, la résultante

de phénomènes en apparence désordonnés s'exprime à l'échelle humaine dans le langage causal. La loi de constance des phénomènes élémentaires a pour résultat à une échelle plus grande une loi de causalité. Ainsi que je le disais au début de ce chapitre, l'absence de lois est encore une loi : c'est en cela, au point de vue scientifique, que consiste le hasard.

Cette conception me paraît avoir une très grande importance philosophique. On ne saurait nier que dans la plupart des cerveaux humains l'idée de cause est mal épurée d'endogénie, elle reste teintée de téléologie. Les esprits enclins à la métaphysique s'en réjouissent, mais ceux d'orientation scientifique en éprouvent un certain malaise. Ils savent bien qu'il ne faut introduire dans la notion scientifique de cause aucune idée de cause première ou finale, et la regarder comme n'exprimant rien qu'une relation nécessaire; mais il est difficile d'épurer la notion à ce point et de ne pas se demander d'où vient cette nécessité.

La loi de constance libère l'esprit de cet embarras. Entre les phénomènes moléculaires qui caractérisent les gaz d'une part et d'autre part des molécules en mouvement, on ne voit aucun lien présentant les caractères qu'éveille l'idée de cause. Il n'y a rien de réglé, aucun ordre : les mouvements des molécules sont tout à fait désordonnés. Et cependant ce désordre a pour conséquence nécessaire les lois des gaz. Il n'y a plus de place dans cette conception pour la moindre notion endogène.

Il ne faudrait pas croire que cette conception porte atteinte au déterminisme scientifique. C'est tout le contraire, puisque même lorsqu'il n'y a pas de cause, de cause directe dans le sens où on l'entend d'ordinaire, il y a encore des lois, ou au moins une loi, la loi de constance.

Le déterminisme subsiste, mais cependant il n'a plus la même rigueur que le déterminisme causal. Je tiens à le dire, bien qu'il soit sans doute très dangereux de le faire. Si j'ai des lecteurs, je crains bien que la majorité n'interprète mal ce que je veux dire.

Avec le déterminisme causal, il n'y a pas place pour le moindre flottement. Les plus petits faits sont déterminés de toute éternité. Il fait grand vent; une grosse branche vient de casser dans mon jardin. Le bris de cette branche était déterminé depuis des milliers d'années. Un petit insecte vient se poser sur mon papier. Avant même que notre système solaire se fût détaché de la grande nébuleuse, le vol de cet insecte était exactement déterminé. Il devait fatalement se poser en ce point et à cette heure.

Je ne crois pas qu'il puisse exister de plus ardent déterministe que moi ; mais j'avoue que j'ai toujours répugné à considérer comme exactement déterminés de toute éternité des phénomènes de ce genre, — non point en raison de leur peu d'importance humaine ; j'aurais pu prendre en exemple la chute de la tuile qui fracasse le crâne d'un passant. Ici l'importance au point de vue humain est considérable. La détermination étroite de l'accident ne m'en répugne pas moins.

J'insiste encore sur ce point, que tous ces phénomènes se passent suivant les lois naturelles. Dans le cas de la branche cassée, la pression du vent a dépassé la résistance du bois. Un courant d'air a entraîné l'insecte; l'éclat de mon papier, son odeur, l'humidité de l'encre ont provoqué chez lui des phénomènes physio ou chimiotactiques. La tuile a obéi aux lois de la pesanteur; sa force vive a infléchi le crâne au delà de ses limites d'élasticité. Tout cela

s'est passé de la manière la plus correcte, si l'on peut ainsi parler. Dans les mêmes conditions, les choses se passeraient de même. Mais il ne résulte pas du tout de là que les conditions qui ont amené ces coïncidences fortuites étaient déterminées depuis des milliers de siècles.

On est tenté de croire qu'en remontant de déterminations en déterminations on doit s'enfoncer sans limite dans les siècles passés ; mais si l'on veut analyser toutes les conditions qui ont amené les phénomènes que j'ai pris comme exemple, il suffit de remonter le cours du temps de quelques secondes pour se trouver aux prises avec une complexité effarante. La multitude de phénomènes qui ont joué un rôle dans leurs antécédents est formidable.

Poincaré estimait, je l'ai rappelé, qu'une masse gazeuse pouvait, en quelques milliards d'années, cesser pour quelques secondes d'obéir à la loi de Mariotte. Cela veut dire que dans les molécules en mouvement une série exceptionnelle pourrait se produire qui modifierait pour un instant le résultat moyen. Perrin a dit dans le même sens que si l'on voyait une petite balle de plomb se soulever légèrement pour un instant, il ne faudrait pas en être autrement surpris.

La théorie cinétique permet de comprendre que dans la complexité infinie des phénomènes peuvent se produire des séries exceptionnelles sans que les lois soient violées. Ces séries exceptionnelles sont capables d'aiguiller des phénomènes dans une direction qu'à l'échelle où nous observons il aurait été impossible de prévoir avant qu'elles se soient produites.

Ainsi, sans que les lois présentent une évolution, des séries rares peuvent survenir qui modifient la succession des phénomènes. Il en résulte un certain flottement dans le déterminisme, mais sans l'inter-

vention de rien qui ressemble à une liberté ou à une volonté.

La théorie cinétique qui fait pénétrer plus avant dans la constitution de la matière montre que le chaos moléculaire a pour résultat global à l'échelle molaire une loi causale, et en même temps elle permet de comprendre, par les séries exceptionnelles, qu'il peut y avoir un certain flottement dans le déterminisme sans qu'il y ait d'autres éléments en jeu que l'énergie et la matière.

LIVRE V

CHAPITRE I

Bases de la Science.

SOMMAIRE. — Solidité des assises de la science. — Mathématiciens. — Les faits et leurs relations.

Dans la première partie de ce travail[1], j'ai cherché à montrer que le cerveau, comme tous les organes, est adapté. Réagissant sous l'influence du milieu, se modifiant à chaque réaction par l'assimilation fonctionnelle, il est adéquat à toutes les conditions générales du milieu qui sont capables d'agir sur lui.

Les sens nous fournissent des renseignements sur ces conditions et dans la mesure de leur influence sur la conservation de la vie. Ces renseignements sont sommaires mais fidèles.

Les idées élémentaires ne sont que la sommation de souvenir de sensations. Des séries innombrables d'observations parfaitement concordantes, maintes

1. On retrouvera dans cette dernière partie toutes les idées qui ont été précédemment exposées. Je prie le lecteur de ne pas s'irriter de ces répétitions; elles m'ont paru inévitables.

fois répétées, les ont fixées dans le cerveau bien avant qu'il y eut des hommes. Les idées sur l'espace et le temps sont des notions phylogéniques. Elles font partie du patrimoine héréditaire de la plupart des animaux supérieurs depuis des millions d'années. Si l'on envisage les cellules cérébrales où elles se produisent, il est tout à fait juste de les considérer comme des caractères acquis, héréditairement fixés. Elles sont fixées à ce point que l'on méconnaît leur origine. On arrive alors à les considérer comme intuitives, ce qui donne le droit de discuter leur valeur.

Rien n'est plus stérile que ces discussions. Quand les savants et les philosophes seront plus familiarisés avec la doctrine évolutionniste, elles paraîtront bien ridicules.

Il ne sera plus question d'axiomes, de vérités évidentes par elles-mêmes. On ne discutera plus sur les dimensions de l'espace, sur l'homogénéité du temps. Ces notions seront envisagées tout simplement comme le résultat de constatations expérimentales, fournissant à la Science une base solide.



Il existe à l'heure actuelle une contradiction violente entre l'état d'esprit de certains mathématiciens et celui des physiciens. Ainsi, la plupart des physiciens considèrent la molécule comme ayant une existence réelle, démontrée. D'autre part Poincaré et certains mathématiciens ne sont même pas sûrs des dimensions de l'espace. Les physiciens vont plus loin ; ils arrivent à déterminer l'ordre de grandeur des molécules. Mais si l'on n'est pas sûr que l'espace n'a que trois dimensions, comment peut-on avoir une idée sur la grandeur d'une molécule ou

même d'un corps quelconque, car dans la quatrième dimension son étendue pourrait être infinie.

Comment expliquer de pareilles divergences entre des hommes de science ? C'est, je crois, assez facile.

Les mathématiciens opèrent avec des symboles, des algorithmes sans avoir à se demander ce qu'ils représentent. Les mêmes formules s'appliquent d'ailleurs à des choses très différentes et c'est une des raisons de la puissance des mathématiques.

Mais cela devient aussi une cause de faiblesse pour le mathématicien qui veut philosopher sans avoir l'imagination tenue en bride par la discipline des sciences expérimentales. Quand un théorème géométrique est mis par l'analyse en équation, ce que représentent les coordonnées n'a aucune importance pour la suite du raisonnement mathématique. Pour le géomètre analyste, c'est un jeu d'introduire une variable de plus. Mathématiquement il a tous les droits de le faire, et au point de vue de l'algèbre cette introduction peut être fort intéressante. Mais il outrepasse son droit s'il considère cette variable comme représentant une dimension de l'espace.

Le physicien n'évolue pas en liberté au milieu des symboles ; il est aux prises avec la réalité qui impose des limites à sa fantaisie, limites d'ailleurs singulièrement vastes, car les réalités de la physique dépassent de beaucoup tout ce que l'imagination des poètes avait pu concevoir. Si l'observation de plus en plus pénétrante suggère aux physiciens des hypothèses merveilleuses, elle les oriente et les empêche de s'égarer dans la fantaisie qui reste ouverte librement au pur mathématicien.

Ces considérations permettent de comprendre comment les mathématiciens peuvent être conduits

à des conceptions en désaccord complet avec la réalité; mais elles n'expliquent pas pourquoi certains d'entre eux s'y abandonnent si volontiers. Ceci s'explique, je crois, par un mélange de goût et de crainte de la métaphysique.

Tous les savants à l'heure actuelle se méfient de la métaphysique, et comme la métaphysique vit d'abstractions, quelques-uns sont conduits à se défier de toutes les abstractions. L'espace en est une et c'est assez pour qu'ils le tiennent en suspicion. Ce faisant, ils oublient que la notion d'espace est une acquisition phylogénique d'origine expérimentale d'une part et, d'autre part, ils font une confusion entre les abstractions scientifiques et les abstractions métaphysiques, entre les abstractions légitimes et les abstractions illégitimes. Dans le chapitre que j'ai précédemment consacré à cette question, je me suis efforcé de montrer que l'abstraction légitime n'est que du concret épuré. Elle est une réalité et toute fantaisie y est interdite par les faits. Au contraire l'abstraction illégitime est poussée au point qu'il ne reste plus rien. Elle est vidée de toute réalité; la fantaisie peut s'y donner libre jeu ; elle n'a plus rien de scientifique, c'est de l'art ou de la métaphysique. En traitant les abstractions légitimes qui restent soumises à l'expérience comme des abstractions illégitimes qui lui échappent, certains mathématiciens, par défiance de la métaphysique, reviennent à un état d'esprit métaphysique.

Le mode de formation du cerveau d'une part, d'autre part l'analyse de l'abstraction et de ses limites permettent d'affirmer que la Science a une base objective solide.

En quoi consiste-t-elle ?

Jamais, je crois, les philosophes scientifiques ne se sont défiés du cerveau humain comme font ceux

d'aujourd'hui. Parmi les chercheurs, il en est qui s'interdisent de penser et par là se stérilisent.

On dit et on écrit à chaque instant qu'un fait est un fait, rien qu'un fait, en ayant l'air de considérer cette affirmation comme une preuve d'esprit scientifique.

Ceux qui ont cette conception simpliste peuvent devenir des érudits. S'ils sont capables de bien observer, en rassemblant des documents ils rendent service aux savants capables de les utiliser, mais eux-mêmes ne seront jamais des savants, ils ne se doutent même pas de ce qu'est la Science.

Pour le savant, un fait est le résultat d'une loi. C'est l'occasion de vérifier une loi connue ou d'en chercher une nouvelle.

M. Le Roy a voulu établir une distinction entre le fait brut et le fait scientifique. H. Poincaré, qui a longuement discuté les arguments et les exemples de M. Le Roy, arrive à cette conclusion : « En résumé les faits sont des faits, et, s'il arrive qu'ils sont conformes à une prédiction, ce n'est pas par un effet de notre libre activité. Il n'y a pas de frontière précise entre le fait brut et le fait scientifique ; on peut dire seulement que tel énoncé de fait est plus brut ou au contraire plus scientifique que tel autre ».

L'énoncé d'un fait peut bien avoir une allure plus ou moins scientifique, mais le fait n'est nullement changé par là. Si l'observation a été mal faite, on se trouve en présence d'une erreur et non d'un fait. Si l'observation est bonne, le fait est exact. Il n'est ni brut ni scientifique ; il est, voilà tout.

L'observation est la base de toute science : c'en est le point de départ nécessaire mais non le but. Une collection de faits même parfaitement observés n'a rien de scientifique. Un herbier n'est pas la bota-

nique; un muséum n'est pas la zoologie; un catalogue de bibliothèque n'est pas la Science.

La Science ne consiste pas à cataloguer, mais à trouver les rapports constants qui lient les phénomènes les uns aux autres.

Un observateur patient qui décrit les caractères morphologiques d'un mollusque ne fait pas une œuvre scientifique. Je ne dis pas qu'il ne rend aucun service à la science. En amassant des matériaux, il facilite la besogne du vrai savant.

Si au lieu de se borner à décrire des détails morphologiques, il montre comment ils ont varié au travers des siècles, son travail prend une orientation scientifique; il cherche si les faits qu'il observe confirment ou infirment la doctrine évolutionniste. S'il arrive à établir une relation entre les modifications du milieu et les modifications morphologiques, son œuvre est nettement scientifique : il a constaté un rapport entre deux phénomènes.

Pourquoi ces rapports ont-ils une si grande importance? C'est qu'ils ont une valeur générale. Quand le rapport a été bien constaté, on a le droit de le généraliser, c'est-à-dire d'affirmer que toutes les fois que les conditions antécédentes seront identiques, le résultat sera identique. La loi permet de prévoir.

Qu'est-ce qui nous autorise à généraliser? Simplement l'expérience. C'est de l'expérience que nous vient la confiance dans la fixité des rapports. Peut-être peut-on actuellement baser cette confiance sur la loi de constance à laquelle conduit l'étude du hasard, mais il est bien certain qu'elle n'a pas eu d'abord d'autre raison que l'expérience.

CHAPITRE II

Les Lois.

SOMMAIRE. — Les lois sont des définitions qui ne comportent ni hypothèse ni explication. — Leur valeur. — Précision et certitude. — Prévision.

La formule qui exprime des rapports constants entre des phénomènes est une loi.

Une loi n'est qu'une définition. Il va sans dire que c'est la définition, non pas d'un objet, mais d'un rapport.

Dans son livre sur la valeur de la Science, H. Poincaré a écrit : « C'est Newton qui nous a montré qu'une loi n'est qu'une relation nécessaire entre l'état présent du monde et son état immédiatement postérieur. Toutes les autres lois découvertes depuis lors ne sont pas autre chose ; ce sont des équations différentielles ». Il peut sembler qu'une équation ne ressemble guère à une définition et que ces deux conceptions de la loi sont profondément différentes. Il n'en est rien. Une équation de forme générale est une définition rendue plus facilement utilisable parce qu'elle est mise sous la forme mathématique.

Considérer les lois comme la définition de rapports, est-ce prendre l'attitude nominaliste? En aucune façon ; la définition d'un rapport n'est ni une tautologie, ni une convention.

H. Poincaré considère les principes comme le résultat d'un nominalisme inconscient. Il ajoute : « Toute loi peut se décomposer en un principe et une loi, mais il est bien clair par là que, si loin que l'on pousse cette décomposition, il restera toujours des lois ».

S'il reste des lois, cela suffit. Cependant, on ne peut admettre que les principes soient dus à un nominalisme inconscient. Les principes sont des notions très générales auxquelles conduit l'expérience. Ils permettent, lorsqu'on les a atteints, l'exposition déductive, mais on ne les atteint que tardivement, alors que bien des lois sont déjà établies, car le caractère des principes est de comprendre un grand nombre de lois. A cette période du développement de la science qui précède la découverte des principes, on serait bien embarrassé de décomposer une loi en un principe et une loi. Quand Newton a découvert que l'énergie gravifique varie inversement au carré de la distance, il lui était impossible de faire rentrer cette notion capitale dans un principe. Elle est rentrée depuis dans le principe de la conservation de l'énergie.

H. Poincaré se sert de l'exemple suivant pour préciser l'attitude nominaliste. « Je suppose que les astronomes viennent de découvrir que les astres n'obéissent pas exactement à la loi de Newton. Ils auront le choix entre deux attitudes : ils pourront dire que la gravitation ne varie pas exactement comme l'inverse du carré des distances, ou bien ils pourront dire que la gravitation n'est pas la seule force qui agisse sur les astres et qu'il vient s'y ajouter une force de nature différente. Dans le second cas, on considérera la loi de Newton comme la définition de la gravitation. Ce sera l'attitude nominaliste. Le choix entre les deux attitudes reste

libre et se fait par des considérations de commodité, quoique ces considérations soient le plus souvent tellement puissantes qu'il reste pratiquement peu de chose de cette liberté. »

Quelques restrictions que H. Poincaré apporte à cette liberté, ce n'est point suffisant. En présence de la nature, le savant n'a aucune liberté d'interprétation.

Il ne peut ni choisir, ni modifier les lois de la nature. Ce n'est évidemment pas parce que nous les avons choisies qu'elle s'y soumet, ni parce que nous avons fait telle ou telle convention que les phénomènes se passent de telle ou telle façon. La loi de Newton est la définition de la gravitation, parce qu'elle est d'accord avec l'expérience et non parce que Newton l'a formulée.

Le rôle du savant consiste uniquement à trouver, à découvrir. S'il se mêle d'inventer ou de choisir, il ne peut que se tromper. La part de l'humanité dans la science ne peut être que l'erreur.



La loi se suffit à elle-même comme expression de vérité. Les principes, lorsqu'on s'est élevé jusqu'à eux, servent parfois à trouver des lois nouvelles : ils servent toujours dans la démonstration logique qui ne peut s'appuyer que sur eux, mais ils ne jouent aucun rôle dans la formule qui sert à prévoir.

La loi est exempte de toute hypothèse. Elle constate sans rien supposer. Aussi une loi bien établie survit aux hypothèses, aux doctrines. Ce sont les théories qui doivent être en accord avec les lois et non les lois qui doivent se plier aux théories.

Quand Descartes découvrit les lois de la réfraction, on croyait au rayon lumineux : c'est par la

théorie de l'émission qu'on expliquait la lumière. Cette théorie a été abandonnée parce qu'elle ne cadrait pas avec d'autres lois; on lui a substitué la théorie des ondulations, puis celle des ébranlements électromagnétiques. Les lois de la réfraction n'ont point changé pour cela; elles survivent aux doctrines.

Une loi n'explique rien : ce n'est pas une explication, c'est une constatation.

Quand on introduit verticalement un tube de verre capillaire dans l'eau, il est facile de voir que le liquide s'élève dans ce tube. Si on le plonge au contraire dans le mercure, le niveau du liquide s'abaisse. Voilà des faits.

L'observation plus attentive montre que le liquide s'élève quand il mouille le tube, qu'il s'abaisse au contraire quand il ne le mouille pas. Voilà un rapport. C'est une loi, mais elle est très incomplète.

Le chercheur fait alors intervenir une hypothèse; il se demande si la hauteur à laquelle s'élève le liquide ne dépend pas du diamètre du tube. Il expérimente avec des tubes toujours très fins, mais de diamètres différents, et constate qu'un liquide qui mouille le tube capillaire s'élève, que celui qui ne le mouille pas s'abaisse à une hauteur inversement proportionnelle au diamètre du tube. C'est la loi de la capillarité. La loi formulée ne contient aucune hypothèse, ni aucune explication. L'explication, on peut la trouver dans une théorie, la théorie cinétique, mais cela n'a d'intérêt que si elle est d'accord avec cette loi et en même temps avec beaucoup d'autres.

Il n'est pas besoin de se demander quelle est la nature de la relation qui lie les phénomènes. J'ai déjà dit en étudiant le hasard (voir p. 267) comment on peut concevoir le principe de causalité et j'aurai

à y revenir. Ces considérations qui ont un extrême intérêt et une très grande importance pour l'évolution de la Science ne sont point nécessaires pour trouver une loi ni pour l'appliquer.

La Science dans les parties où elle est suffisamment avancée — je ne dis pas achevée — se compose donc de formules qui définissent les rapports entre les phénomènes et qui ne comportent aucune hypothèse ni aucune explication.

*
* *

Ceci étant bien posé, qu'est-ce que peuvent signifier cette série de truismes à chaque instant répétés : quelle est la valeur de la Science? La Science a-t-elle une valeur objective?

Ces questions paraissent profondes, mais je crois bien qu'elles n'ont aucun sens.

Veut-on dire que la réalité du monde extérieur n'est pas certaine? De toutes les questions métaphysiques, c'est certainement la plus oiseuse. Le biologiste ne peut concevoir un être vivant sans le milieu. Tous les phénomènes qui se passent dans la plante ou l'animal ne sont que réactions vis-à-vis du milieu. La matière vivante ne peut exister que par le milieu. Si le philosophe est sûr d'exister, il doit être sûr que le milieu existe, car son existence à lui implique l'existence du monde extérieur.

Veut-on dire que le monde n'a pas de règle? L'affirmation que le monde n'a pas de règle peut avoir plusieurs sens. Dans le chapitre consacré au hasard, j'ai essayé de montrer que l'absence de lois est une loi : mais ce n'est pas là ce que veulent dire ceux qui mettent en doute la valeur de la Science. Ils supposent que les phénomènes sont réglés non par des rapports constants, mais par une volonté

libre. Ceci est une idée d'origine endogène : aussi ne mérite-t-elle pas d'être discutée. L'observation courante montre d'ailleurs que la succession des phénomènes se fait dans un ordre inéluctable. La fantaisie est exclue de l'univers.

Mais ici se greffe une autre question ou plutôt un autre mot, la contingence des lois de la nature. Qu'est-ce que l'on entend par l'expression contingence des lois de la nature? Elle semble avoir été employée dans des sens différents. Il y a dans le vocabulaire philosophique toute une série de mots dont le sens n'est pas précis, ou bien est variable. On ne sait jamais dans quel sens l'emploient les auteurs qui s'en servent, et cela engendre de fâcheuses confusions. Souvent le même mot est employé dans le même paragraphe avec des sens différents. Il en résulte des sortes de calembours involontaires qui enlèvent toute valeur à certaines argumentations.

Ainsi l'expression contingence des lois de la nature me semble être employée dans deux sens différents. Tantôt on l'applique aux formules trouvées par les hommes pour représenter la succession des phénomènes, tantôt on l'applique à la succession même des phénomènes.

Dans le premier cas, elle veut dire que les lois scientifiques sont incomplètes, approximatives. Dans le second cas, elle signifie que les lois auxquelles obéit la nature ne sont pas rigides, qu'elles permettent un certain flottement. Ces deux sens sont tout à fait différents.

Que les lois formulées par la Science soient le plus souvent incomplètes, approximatives, cela n'est pas douteux. L'observation suffit à le prouver et j'aurai à revenir sur ce point.

Le second sens, qui concerne la rigidité des lois

naturelles, a bien plus d'importance philosophique. On peut entrevoir aujourd'hui qu'à l'échelle des électrons, des atomes, des molécules, il n'y a plus que des énergies désordonnées et que les lois moléculaires ne sont que des résultantes moyennes. J'ai insisté sur ce point de vue dans le chapitre consacré au hasard (voir p. 268). Mais les moyennes de par la loi de constance des grands nombres ne peuvent osciller que dans des limites si étroites que les rapports constatés à une autre échelle restent valables.

Veut-on dire que nous ne pouvons pas connaître le monde extérieur? Ceci encore peut avoir plusieurs sens. Ceci peut signifier que les hommes sont incapables de pénétrer la nature intime des phénomènes et par suite de trouver l'explication totale de l'univers. Je laisse pour le moment de côté cette question qui n'est pas purement scientifique. La question scientifique est de savoir si nous pouvons connaître les rapports des phénomènes. J'ai maintes fois répété que le cerveau est adéquat à la réalité, que l'être dont les réactions ne seraient pas conformes au monde extérieur ne pourrait pas vivre. L'être vivant est forcément accordé avec le milieu : et si entre l'excitation venue de l'extérieur et la réaction de l'organisme se placent des phénomènes de conscience, ces phénomènes sont nécessairement conformes à l'excitation. Cela ne veut pas dire que la conscience renseigne sur la nature des phénomènes extérieurs, cela veut dire tout simplement que, pour une même excitation, le phénomène de conscience, la sensation, est du même ordre, et cela suffit pour que l'être pensant ait une connaissance correcte du monde extérieur.

Si l'on veut dire que la connaissance que nous avons du monde extérieur est incomplète ou impré-

cise, cela est une tout autre question qui n'a plus du tout la même importance.

Il est certain que la plupart de nos lois ne sont qu'approchées. Mais il ne faut pas confondre la certitude avec la précision.

Le cerveau scientifique pense avec des rapports, avec des relations. Celui qui n'a pas de discipline, de méthode, pense avec des faits. Dans l'ordre des faits, il n'y a de place que pour la vérité ou l'erreur. Un fait est vrai ou faux, il serait plus exact de dire qu'il existe ou n'existe pas. Quand il s'agit de rapports, de relations, entre la vérité et l'erreur prennent place les approximations.

Supposons qu'il s'agisse de la mesure d'une longueur. Toute mesure est un rapport entre la grandeur envisagée et une unité conventionnelle. Dans le cas supposé, il n'y a plus d'erreur complète possible. L'erreur complète consisterait à croire qu'il existe une longueur alors qu'il n'y en a pas. Dès qu'on la mesure, on est bien sûr qu'elle existe. Si l'erreur complète est impossible, il est par contre très difficile d'arriver à la vérité complète, c'est-à-dire à l'exactitude. La mesure sera sans doute imparfaite, elle ne sera pas tout à fait exacte, elle sera approximative, ce sera une vérité approchée. S'il s'agit de la distance de Paris à Marseille, on la tiendra pour exacte malgré une erreur de l'ordre du mètre. S'il s'agit de longueur d'onde sonore, une erreur de millimètres sera grave. S'il s'agit de vibrations lumineuses une erreur portant sur des millièmes de millimètre suffira pour enlever toute valeur à la mesure.

De même bien des relations formulées sous forme de lois ne sont qu'approximatives. Elles ne concordent pas exactement avec la réalité. Mais il faut bien s'entendre sur ce que cela veut dire. Elles

indiquent toujours le sens du phénomène, mais elles ne l'indiquent pas toujours avec une précision suffisante.

La loi de Mariotte, par exemple, établit une relation entre le volume des gaz et la pression. Elle n'est pas absolument vraie. Cela veut-il dire que les gaz sont parfois en contradiction avec la loi de Mariotte, qu'à la même température ils augmentent de volume quand la pression augmente? Jamais personne n'a vu, jamais personne ne verra un prodige de ce genre. Cela veut dire que les modifications de volume des gaz ne sont pas toujours exactement proportionnelles à la pression. On sait d'ailleurs quelles sont les corrections qu'il faut apporter à la formule de la loi de Mariotte.

Quand bien même on ne le saurait pas, est-ce que l'imprécision de la loi autoriserait à mettre en doute sa valeur objective, et en même temps celle de toute la Science? En aucune façon. La loi de Mariotte est d'ailleurs suffisamment approchée pour suffire aux besoins de la pratique et j'ai montré précédemment que Mariotte ayant fait une double extrapolation, le résultat auquel il est arrivé ne pouvait pas être précis.



Les lois permettent de prévoir. Cela veut dire que la généralisation dans le temps est légitime. La merveilleuse précision des prévisions astronomiques le prouve surabondamment. L'ingénieur qui fait les plans d'une machine sait parfaitement que, si la machine est correctement exécutée, elle produira tel travail dans telles conditions.

H. Poincaré, envisageant la certitude des prévisions astronomiques, se demande si elle est absolue,

et il fait l'hypothèse suivante : « Ne pourrait-il exister dans l'univers quelque masse gigantesque, beaucoup plus grande que celle de tous les astres connus et dont l'action se ferait sentir à de grandes distances? Cette masse serait animée d'une vitesse colossale et après avoir circulé de tout temps à de telles distances que son influence soit restée jusqu'ici insensible pour nous, elle viendrait tout à coup passer près de nous. A coup sûr, elle produirait dans notre système solaire des perturbations énormes que nous n'aurions pu prévoir. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'une pareille éventualité est tout à fait invraisemblable et alors au lieu de dire : Saturne sera près de tel point du ciel, nous devrions nous borner à dire : Saturne sera probablement près de tel point du ciel. Bien que cette probabilité soit pratiquement équivalente à la certitude, ce n'est qu'une probabilité. »

On peut se contenter d'une probabilité qui équivaut à la certitude. Mais ce n'est pas cela que je veux faire remarquer. Si invraisemblable que soit la supposition de H. Poincaré, admettons qu'une masse gigantesque, beaucoup plus grande que celle de tous les astres connus, vienne tout à coup à passer près de nous. Évidemment, elle déterminera une perturbation profonde dans notre système solaire et ruinera les prévisions des astronomes. Mais, dans l'hypothèse de Poincaré, aucune atteinte ne sera portée par là à la science. Cette masse, pour perturber notre système solaire, agira suivant les lois de la gravitation. Aucune loi scientifique ne sera violée.

On s'est demandé si les lois ont toujours été ce qu'elles sont, si elles n'ont pas subi une évolution, ou, en d'autres termes, si la généralisation dans le passé est légitime. A cette question, on peut répondre autrement que par une supposition. Nous

connaissons des astres jeunes, des astres vieillis, des astres morts, et nous les connaissons assez bien pour être sûrs que les lois y conservent toute leur valeur. Il n'y a plus de liquides à la surface de la lune dont la température est trop basse. Mais les liquides solidifiés s'y comportent comme ils font sur la terre dans le même état thermique. Les conditions sont changées, non les lois. Il y a une évolution de l'univers, non des lois, et l'évolution de l'univers se fait conformément aux principes de l'énergétique.

Rien n'autorise donc à mettre en doute la valeur objective des lois, tandis que tout la prouve. — On peut affirmer que, quand les conditions d'un système sont bien connues à un moment donné, il est possible de savoir quelles sont les conditions au moment suivant.

Si dans les prévisions, il y a un point d'imprécision, celle-ci ne tient pas à ce que la science a été faite par des hommes, mais à ce qu'elle est incomplète et imparfaite.

Les lois ne contiennent rien d'humain. S'il y a des êtres pensants dans un astre quelconque et qu'ils soient arrivés à connaître des lois, ces lois sont les mêmes que les nôtres. Les lois scientifiques ne sont pas des lois humaines, ce sont des lois tout court.

Ceci me dispenserait de parler de la relativité de la Science, d'autant plus que je l'ai déjà fait (v. p. 282). Si j'y reviens, c'est que je ne puis m'empêcher de faire remarquer un étrange abus de langage. On emploie le mot relatif pour l'opposer à absolu, et on l'emploie dans un sens absolu; or, dans l'acception absolue, il n'a aucun sens. Le mot relatif appelle un point de comparaison; il faut dire relatif à quoi. Quel est le terme de comparaison qui reste dissimulé dans la pensée de ceux qui emploient le mot? Veu-

lent-ils dire, comme Auguste Comte, relatif à notre système solaire? Les études spectroscopiques ont montré que les astres les plus lointains sont composés des mêmes éléments que la Terre; ils baignent dans le même milieu, et toutes les lois scientifiques leur sont applicables. Veulent-ils dire relatifs à l'homme? Je viens de résumer le faisceau d'arguments qui montrent que le caractère même de la Science faite est d'être dépouillée de tout ce qui est humain.

Si l'on veut dire que la science étudie des rapports, des relations, ce n'est plus une critique. Les lois ne sont que des définitions des rapports, et cela ne diminue en rien la valeur objective de la Science.

C'est toujours des rapports que se tirent les prévisions. Les lois suffisent pour l'utilisation de la Science. Cependant, la Science s'élève au delà et de plusieurs façons.

Elle s'élève d'abord aux principes.

CHAPITRE III

Les Principes.

SOMMAIRE. — Les principes ne sont pas logiquement démontrables. — Le principe de Carnot et les phénomènes. — Nécessité de compléter les formules des lois par des adjonctions énergétiques.

L'unité de la science réalisée par l'énergétique. — Principe de stabilité maxima. — Alliance des doctrines énergétiques et atomiques.

L'énergétique supprime la hiérarchie des sciences et des lois. — Les lois sont inviolables.

La biologie ne comporte pas de lois spéciales. — Le secret de la vie est dans l'état physico-chimique de la matière.

Les principes sont des notions générales d'où l'on peut tirer les lois par une série de déductions logiques, mais qui eux-mêmes échappent aux prises de la logique. Ils ne peuvent être logiquement démontrés. C'est l'expérience qui est le garant de leur valeur.

Certains principes résultent de constatations expérimentales directes. Il en est ainsi des notions très simples que l'on appelle les principes de la géométrie.

D'autres se présentent d'abord comme des hypothèses, et alors, tantôt on les vérifie directement par l'expérience : ainsi le principe de la conservation de la matière; tantôt on s'en sert comme s'ils étaient démontrés, on en tire les conséquences par la mé-

thode déductive et on cherche par l'expérience si ces conséquences logiques sont d'accord avec les faits. C'est la démonstration *a posteriori*. S'il arrive que les déductions logiques, ayant pour point de départ un principe, conduisent à des lois ignorées et que l'expérience en montre l'exactitude, le principe est en quelque sorte consacré.

Les principes ont une puissance énorme, puisque chacun d'eux renferme dans son sein une multitude de lois. Les plus importants sont ceux de l'énergétique.

Les principes ne peuvent être démontrés par la logique et cependant Carnot a donné une démonstration du principe qui porte son nom.

Il y a là un trompe-l'œil. Carnot établit que si la chaleur pouvait produire du travail sans que sa température baissât, le mouvement perpétuel serait possible. Comme il est impossible, il y aurait contradiction.

Cette démonstration a paru satisfaisante, parce qu'un grand nombre de chercheurs s'étaient efforcés de réaliser le mouvement perpétuel. Leurs échecs avaient donné la preuve expérimentale de son impossibilité. C'était une vérité que l'on jugeait assez solidement établie par l'expérience pour en tirer une contradiction.

En réalité, le raisonnement de Carnot est un cercle vicieux, car l'impossibilité du mouvement perpétuel implique le principe de Carnot. A bien prendre les choses, ce n'est pas l'impossibilité du mouvement perpétuel qui justifie le principe, c'est, au contraire, le principe qui explique l'impossibilité.

C'est même pour cela que le principe de Carnot, le second principe de l'énergétique, a une si grande importance et pratique et philosophique.

Philosophiquement, le principe de Carnot explique ce qu'est un phénomène. C'est un progrès extraordinaire. Si l'on avait dit au grand Newton qu'on arriverait à comprendre l'essence d'un phénomène, peut-être aurait-il souri. Auguste Comte aurait certainement répondu que les préoccupations de cet ordre ne sont pas scientifiques.

Un phénomène est un transport ou une transformation d'énergie avec diminution d'intensité (v. p. 169). Tout phénomène s'accompagne d'une consommation d'intensité d'énergie.

Le principe de Carnot nous permet de pénétrer plus avant dans la compréhension de la nature. Il s'ajoute en quelque sorte aux lois en les expliquant, au moins en partie.

Les formules des lois sont presque toutes incomplètes. Elles ne représentent pas la totalité de nos connaissances. Elles indiquent l'état antécédent et l'état suivant sous un certain aspect, mais en négligeant un élément capital, l'état de l'énergie. Elles représentent le phénomène sans tenir compte de ce qui est nécessaire à sa production. A chaque formule, pour avoir la représentation de ce qui se passe, il faudrait ajouter l'indication de la modification énergétique.

Ainsi, quand on comprime un gaz, en même temps que le volume diminue, il y a dégagement de chaleur. Quand on le décomprime, en même temps que le volume augmente, il y a absorption de chaleur. Ces modifications thermiques font partie intégrante du phénomène. Elles sont extrêmement importantes au point de vue pratique et au point de vue philosophique. Pratiquement, c'est par la détente des gaz qu'on a réalisé des températures voisines du zéro absolu. Philosophiquement, c'est sur les modifications thermiques que s'appuie la loi de

Lechatelier. L'échauffement d'un gaz pendant qu'on le comprime augmente son volume et résiste par là à la compression. L'abaissement de la température d'un gaz pendant qu'on le décomprime diminue son volume et résiste à la décompression. D'où une limitation de la variation.

De même, toutes les réactions chimiques s'accompagnent d'absorption ou de dégagement de chaleur. L'équation représentant la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène doit s'écrire :

$$H^2 + O = H^2O + 58.300 \text{ calories.}$$

Je pense que si l'on prenait l'habitude, même dans l'enseignement élémentaire, de noter dans toutes les équations les modifications de l'énergie, on développerait bien davantage l'esprit scientifique. On ferait pénétrer l'esprit des élèves bien plus avant dans la compréhension des phénomènes. Ils verraient tout de suite que l'énergétique a brisé les cloisons étanches au moyen desquelles on avait voulu diviser l'étude de la nature en un certain nombre de sciences distinctes. Ces cloisons ont été justifiées jusqu'à la découverte de l'équivalence des diverses modalités de l'énergie. Elles ne le sont plus aujourd'hui: elles sont même néfastes. Elles masquent l'unité de la Science; elles empêchent d'envisager les phénomènes du point de vue le plus général, qui est toujours le meilleur.

Tous les phénomènes nécessitant une consommation d'intensité d'énergie acheminent la matière vers un état plus stable. Qu'est-ce qu'un état plus stable? C'est celui qui correspond au minimum d'énergie libre.

Certaines formes d'énergie n'ont avec la matière que des liens fragiles. D'autres lui sont étroitement enchaînées. Les premières diffusent sans cesse, et le

type de ces énergies diffusibles est la chaleur. Les secondes restent somnolentes, tant que les conditions ne changent pas et peuvent persister indéfiniment à l'état potentiel. On pourrait dire qu'elles sont équilibrées ou symétriques. Il faut rompre cet équilibre, cette symétrie pour qu'un phénomène commence, et cette rupture ne peut être produite que par une différence de tension énergétique. Mais le phénomène qui a commencé est capable dans bien des cas de libérer de l'énergie.

Il semble qu'il y ait là une contradiction, — elle est purement apparente. Le phénomène consomme de l'énergie, mais il en libère plus qu'il n'en consomme. Celle qui est ainsi libérée devient utilisable. Il faut chauffer le charbon pour qu'il entre en combustion. Le phénomène ne commence que si on lui fournit de l'oxygène plus une certaine quantité d'énergie thermique. La combinaison de l'oxygène et du charbon n'est possible qu'au prix d'une consommation d'énergie, et elle en consomme tant qu'elle dure. Mais en même temps la combustion transforme de l'énergie chimique en énergie thermique : elle en transforme plus qu'elle n'en consomme. Et c'est ainsi qu'une quantité considérable est libérée.

Berthelot a cherché à établir que de deux combinaisons chimiques possibles, c'est toujours celle qui dégage le plus de chaleur qui se produit. C'est là le principe du travail maximum.

Cette notion du travail maximum ne me paraît pas très philosophique. Elle donne l'impression que la libération d'énergie est en quelque sorte le but de la réaction et comme une sorte de cause finale. Je sais bien qu'il n'y avait rien de tel dans le cerveau génial de Berthelot. Mais d'autres pourraient l'y voir dans le principe du travail maximum.

Il me paraît plus philosophique de dire que le phénomène qui se produit est celui qui conduit à l'état plus stable dans des conditions données. Et la loi de Gibbs et de Lechatelier montre justement que les modifications qui se produisent dans un système tendent toujours à y ramener la stabilité. Cette loi n'est qu'une conséquence du principe de Carnot, et Le Dantec, l'envisageant au point de vue biologique, lui a donné volontairement une forme anthropomorphique en disant : la nature a horreur de la contrainte.

Je reviens à la question de la séparation des sciences. Le principe du travail maximum proclame que toute réaction doit s'accompagner de dégagement de chaleur. Mais il y a nombre de réactions qui absorbent de la chaleur, qui sont endothermiques. On a tenté de soutenir que les énergies mises en jeu dans ces cas ne sont pas des énergies chimiques et que si l'on tient compte seulement des énergies purement chimiques, le principe du travail maximum s'applique toujours.

Cette distinction est absolument illégitime. Les cloisons qu'on avait imaginées entre la physique et la chimie n'existent pas : c'est une de ces conceptions humaines dont on débarrasse progressivement la Science. A l'heure actuelle, la physico-chimie ou chimie physique est le domaine scientifique le plus fécond.

Nous savons aujourd'hui que toutes les modalités de l'énergie sont interchangeables. Ainsi le courant électrique, qu'on étudie dans la physique, apparaît comme un résidu de l'énergie chimique quand il est engendré par une pile. Il est antiscientifique de vouloir établir des cloisons dans l'étude des énergies.

Les réactions qui absorbent plus de chaleur

qu'elles n'en produisent ne sont pas en contradiction avec le principe de la tendance à l'état le plus stable. Et, en effet, on n'a pas le droit de les envisager isolément.

Une réaction exothermique se suffit à elle-même. Dès qu'elle a commencé, dès qu'elle est amorcée, elle continue. C'est un ensemble complet. On peut l'envisager comme système isolé. Au contraire, une réaction endothermique ne se suffit pas : il n'est pas légitime de l'envisager comme un système isolé. Si on ne lui fournissait pas de chaleur, elle ne continuerait pas. L'ensemble est donc constitué par les corps qui réagissent l'un sur l'autre, plus une certaine quantité d'énergie fournie par l'extérieur. Si on envisage cet ensemble, il devient clair que la réaction conduit à un état plus stable.

De là résulte qu'il ne peut y avoir de phénomène réversible. Il est bien possible que les diverses phases d'un système oscillent en passant par le même chemin à l'aller et au retour. Mais si le système est réellement isolé, il ne peut jamais revenir à son point de départ et commencer un nouveau cycle. Pour le ramener au point de départ, il faut lui fournir de l'énergie. Et ceci s'applique à toutes les réactions entrevues par Berthollet, étudiées par Deville, qui sont régies par la tension de dissociation.

*
* *

La doctrine énergétique est extrêmement féconde ; mais elle a conduit à des exagérations. Celles-ci sont de deux ordres. Certains énergétistes déclarent que l'énergie est la seule réalité et vont jusqu'à nier la matière. J'ai déjà parlé de cette question (voir p. 184) et j'aurai à y revenir dans un instant, car on

a été conduit par une autre voie à mettre en doute l'existence de la matière. Les mêmes énergétistes, et c'est l'autre mode d'exagération, déclarent que la Science ne doit s'occuper que des modalités et des transformations de l'énergie. Par là, la doctrine énergétique est devenue limitative.

C'est toujours une puérilité de vouloir imposer des barrières à la Science. C'est la faiblesse d'Auguste Comte d'avoir cherché à le faire.

Voici une montre : j'y introduis de l'énergie en la remontant. L'énergie emmagasinée est restituée par le mouvement des aiguilles. L'énergétiste pur dira : « Vous ne devez étudier que la qualité, la quantité et l'intensité de l'énergie à l'entrée et à la sortie ». De quel droit interdit-il d'étudier les modifications qui se produisent dans le système entre l'entrée et la sortie?

L'étude de ces phénomènes intermédiaires a conduit aux découvertes les plus importantes. L'interdiction formulée par certains énergétistes est d'autant plus incompréhensible que les découvertes faites dans cette voie sur les molécules, sur les atomes, sur les électrons ne sont nullement en contradiction avec l'énergétique. Ses lois s'appliquent aussi bien aux éléments de la matière qu'aux masses molaires. La doctrine énergétique et la doctrine atomique ou électronique, bien loin d'être en opposition sont, au contraire, des alliées.

*
* *

L'énergétique me semble avoir une importance philosophique d'un autre ordre qui est très grande. Avant cette doctrine, il était impossible de ne pas concevoir une sorte de hiérarchie des lois. Et cette

conception plus ou moins inavouée contribuait à faire attacher une très grande importance à la classification des sciences. On était obligé d'admettre implicitement que les lois d'une science supérieure infirmaient les lois d'une science inférieure ou leur apportaient une restriction, comme un décret ministériel apporte des tempéraments à un décret antérieur.

Dans mon enfance, j'étais hypnotisé par les solutions. Ma pensée y revenait sans cesse. Il m'est arrivé maintes fois de jeter dans un verre d'eau du gros sel. Je voyais d'abord les grains tomber et mon instinct de la pesanteur était satisfait. Mais quelques instants après, il ne restait plus rien au fond du vase. Prenant une goutte d'eau à la surface, je m'assurais qu'elle était salée. Le sel n'était plus au fond du vase, il était partout, et je me demandais avec une sorte d'effroi ce qui avait bien pu se passer. Très imbu des doctrines positivistes dans lesquelles j'avais été élevé, je me disais qu'il y avait là sans doute une application de la hiérarchie des sciences et que les lois qui régissent les solutions étaient supérieures aux lois de la pesanteur. Mais cette explication ne me satisfaisait pas du tout, et il me restait un grand malaise.

J'ai éprouvé un énorme soulagement quand j'ai connu les travaux de Van t'Hoff et appris que les molécules du soluble sont libérées de leurs liens réciproques et se comportent comme des molécules gazeuses. Cependant ma satisfaction n'était pas complète, car si le fait que le soluble est à l'état gazeux explique qu'il occupe toute l'étendue du solvant, il restait à expliquer comment les liens intermoléculaires qui caractérisent l'état solide sont rompus, et pour cela on pouvait encore faire intervenir une sorte de supériorité des lois de la dissolution sur celles de

la pesanteur. C'est alors que l'énergétique intervient. Dans tout phénomène de solution il y a un travail produit : la chaleur de solution en est l'indice. Ce travail est dû à une énergie libérée. Tout se réduit à un problème énergétique. L'énergie libérée triomphe de la pesanteur.

Une goutte de liquide suspendue à un robinet me causait le même malaise qu'une solution. Il me semblait voir là une dérogation aux lois de la pesanteur. L'obscur sentiment qu'il ne peut pas y avoir de dérogation à une loi me mettait dans un grand embarras.

Bien souvent aussi, étant enfant, j'ai jeté de l'eau sur une plaque métallique rougie au feu. Le spectacle de l'eau se mettant en boule au lieu de s'étaler conformément aux lois de la pesanteur exerçait sur moi une attirance douloureuse. Les lois de la pression osmotique, de la tension superficielle m'ont causé un soulagement, mais un soulagement incomplet, car elles ne supprimaient pas l'idée angoissante que certaines lois ont une sorte de supériorité sur d'autres. C'est l'énergétique qui libère l'esprit de cette espèce de servitude métaphysique en faisant comprendre qu'il y a tout simplement en jeu des énergies dont la plus puissante dirige le phénomène.

Cette notion a une si grande importance philososophique qu'il me semble nécessaire de la mettre en lumière par un exemple encore plus simple.

Quand on lance une balle en l'air, bien des gens semblent s'imaginer que l'on met la pesanteur en défaut. Il n'en est rien. La pesanteur est une force qui a une direction. Si on communique à un mobile une énergie cinétique supérieure et de sens inverse, il s'élève malgré la pesanteur. Mais la pesanteur

continue à agir et le mobile s'élève moins haut que si la pesanteur était moindre.

Beaucoup de personnes penseront sans doute que ce problème est trop simple pour n'être pas clairement compris. Mais il en est peut-être parmi elles qui éprouvent une certaine difficulté à saisir que les planètes tombent à chaque instant sur les soleils, et cependant le problème est absolument le même. Il y a à chaque instant lutte entre l'énergie cinétique d'une planète et l'énergie gravifique. Si cette dernière cessait d'agir, la planète prendrait immédiatement un mouvement rectiligne et uniforme tangentiel au point de son ellipse où elle se trouvait au moment où la gravitation aurait cessé d'agir. Elle s'éloignerait du Soleil. Dans chaque intervalle de temps, elle tombe donc sur le Soleil de toute la distance dont elle s'en serait éloignée si la gravitation n'avait pas agi.

Quand Arrhénius émit l'hypothèse que les aurores boréales sont dues à des particules détachées du Soleil, et ayant traversé l'immense étendue intersidérale pour arriver jusque dans les couches élevées de notre atmosphère, bien des gens se sont demandé si la loi de gravitation n'était pas violée. Une loi n'est jamais violée. Les lois sont inviolables. Là encore tout se réduit à un problème énergétique. Les radiations (lumineuses ou autres) exercent une certaine pression sur les corps qu'elles rencontrent. Cette pression, entrevue par Bartoli, par Maxwell, a été démontrée par Lebedew. Elle est proportionnelle aux surfaces, tandis que la force gravifique est proportionnelle aux masses. Si un corps a une très petite masse et une surface relativement grande, la pression de radiation devient pour lui supérieure à la force de gravitation, et au lieu d'être attiré par la masse du Soleil, il est repoussé par ses radiations.

Il n'y a pas de lois de qualité supérieure ou inférieure, toutes les lois ont la même valeur et c'est une valeur absolue. C'est-à-dire que, dans les mêmes conditions, il est impossible que les phénomènes ne se passent pas de la même façon. Mais les conditions changent, c'est-à-dire les énergies en présence et c'est l'énergie qui règle les phénomènes.

Ces considérations, très simples pour ceux à qui elles sont familières, ont une extrême importance philosophique. Elles permettent de répondre à l'une des questions qui a été le plus discutée et qui l'est encore : Les lois de la biologie sont-elles d'un caractère spécial ?

Il faut bien s'entendre sur le sens de la question.

Un être vivant ne se comporte pas comme un corps brut : cela est de toute évidence. La substance vivante est le siège de phénomènes globaux d'un caractère spécial : sans cela, il n'y aurait pas d'êtres vivants, ni par conséquent de biologie.

Mais il s'agit de savoir si les phénomènes globaux de la biologie ne sont pas réductibles à des phénomènes physico-chimiques.

Quand on demande s'il y a des lois particulières à la vie, on demande en réalité — sans s'en rendre compte peut-être — s'il y a des lois de qualité supérieure, mettant en déroute les lois physico-chimiques. C'est là l'idée qui persiste implicitement ou explicitement dans la majorité des cerveaux.

Etant donné ce que nous savons actuellement des phénomènes, cette question n'a aucun sens. Tous les phénomènes sont dus à des dissymétries énergétiques. A ce point de vue, ceux qui se passent dans la substance vivante ne sont pas différents des autres. Les êtres vivants ne sont que des transfor-

mateurs d'énergie et ils doivent être étudiés comme les corps bruts.

Mais il faudrait être bien simpliste pour s'imaginer que les transformations s'y font comme dans nos machines industrielles. Ainsi, par exemple, dans les machines à feu, la chaleur est l'intermédiaire entre l'énergie chimique du charbon et l'énergie cinétique utilisée pour produire du travail. Beaucoup de physiologistes se sont imaginé qu'il en est de même chez les animaux et que la chaleur est l'intermédiaire entre l'énergie chimique des aliments et le travail produit par la contraction musculaire. C'est une conception beaucoup trop simple.

La chaleur entretenue dans les êtres vivants par certaines réactions chimiques est indispensable à d'autres réactions, comme elle est indispensable à la combustion dù charbon. Elle joue un rôle d'amorçage indispensable. Mais la chaleur n'est pas un intermédiaire nécessaire à la production d'autres phénomènes et en particulier du mouvement.

Les phénomènes propres à la matière vivante sont dus à l'état physico-chimique sous lequel elle se trouve : l'état colloïdal. Or, cet état n'est pas propre à la matière vivante ; nous savons aujourd'hui mettre la plupart des corps, les métaux entre autres, sous la forme colloïdale, et sous cette forme ils acquièrent des propriétés très différentes de celles qu'ils ont sous un autre état et très voisines de celles de la substance vivante.

J'aurai à revenir sur ce point. J'ai voulu indiquer ici qu'il n'y a pas, qu'il ne peut pas y avoir de lois biologiques d'un caractère tel que les lois de la matière inerte leur soient subordonnées. L'énergie se comporte dans les corps vivants comme dans les corps bruts. Le secret de la vie est dans l'état de la matière vivante.

L'énergétique permet d'envisager tous les phénomènes du même point de vue et, par conséquent, de traiter les phénomènes biologiques comme les phénomènes chimiques ou physiques. Mais elle n'explique rien. Toutes les fois qu'on cherche une explication, de quelque point que l'on parte, on est conduit à la même question : quelle est la constitution de la matière?

CHAPITRE IV

Constitution de la matière.

SOMMAIRE. — Constitution de la matière. — La molécule. — Commodité, harmonie et adaptation. — La molécule en physique. — Les ions.

L'énergie moléculaire et atomique.

Constante d'Avogrado. — Substitution d'une grandeur absolue à un rapport. — Nombre des molécules.

Le hasard vrai et le principe de causalité.

Etat colloïdal. — Pseudosynthèse de la vie.

Un grand nombre de savants se sont attaché à cette rude tâche. Par des expériences qui sont des merveilles d'ingéniosité et de précision, ils sont arrivés à des résultats admirables.

La conception de l'atome, du grain de matière indivisible est très ancienne. Faut-il y voir une preuve de l'adaptation du cerveau humain? Je le crois, car les philosophes hindous ou grecs, qui considéraient la matière comme discontinue, auraient été bien embarrassés d'expliquer par de bonnes raisons pourquoi ils ne la concevaient pas comme continue.

C'est la loi pondérale des proportions définies et celle des proportions multiples qui ont fourni la première base rationnelle à l'hypothèse atomique. Le fait que les combinaisons se font sans reliquat imposait forcément l'idée que les éléments de la matière sont des unités indivisibles.

Les rapports volumétriques des gaz qui se combinent, rapprochés des rapports pondéraux, ont conduit à cette conclusion que, sous le même volume et à la même température, tous les gaz renferment le même nombre de particules élémentaires.

Il devint dès lors possible de mesurer le poids atomique des gaz en le rapportant à une unité choisie comme étalon, le poids de l'atome d'hydrogène.

Et on a pu assister à de singuliers contrastes. Le même homme, par exemple, faisant de la philosophie, insistait sur le caractère hypothétique des atomes, et faisant de la science, se servait couramment de leur poids. La philosophie, après avoir voulu guider la science, est restée en retard. Ce n'est plus la science qui s'incline devant la philosophie. C'est la philosophie qui marche à la remorque de la science.

Les rapports volumétriques des composés gazeux avec les composants ont conduit à l'idée de molécules formées de plusieurs atomes. On a étudié une série de phénomènes, les densités de vapeur, l'abaissement du point cryoscopique, la tension osmotique, et montré que leurs variations sont proportionnelles au nombre des molécules dissoutes. Il y a toute une série de propriétés de la matière, propriétés dites colligatives, qui dépendent non de la nature des molécules, mais seulement de leur nombre et de leur masse.

Les molécules qui semblaient simplement commodes pour donner une image grossière de la composition chimique des corps permettent de comprendre un grand nombre de phénomènes physiques.

Dira-t-on que là aussi les molécules sont simplement commodes? On sait que ce vocable était cher à H. Poincaré. « Pour ma part, dit M. Picard, je

comprends mal le mot commode. » Après ce grand savant, j'aurai moins de honte à avouer que je ne le comprends pas du tout.

Peut-être la commodité, dans le sens où l'entendait H. Poincaré, correspond-elle à ce que Pythagore comprenait sous le nom de beauté. Elle est alors à peu près synonyme de simplicité.

J'ai appris jadis comme une règle de philosophie scientifique, ou plutôt de méthode, qu'entre deux hypothèses possibles il faut toujours s'arrêter à la plus simple. L'idée que la nature est simple était très ancrée dans l'esprit des savants. Aujourd'hui on la considère comme un peu puérile; on insiste volontiers sur la complexité des phénomènes. Il faut s'entendre : il y a peut-être là une confusion. Les phénomènes d'ensemble sont d'une extraordinaire complication; leur complication vient de la multiplicité des conditions qui entrent en jeu. Les lois auxquelles chaque phénomène particulier obéit sont relativement simples. Elles paraissaient plus simples alors que la science était moins précise. A mesure qu'on s'élève à une précision plus grande, on s'aperçoit qu'il faut apporter des corrections à beaucoup de formules et on est tenté de croire que la simplicité était purement apparente et due à la grossièreté des premières approximations. Il n'est pas sûr que cette idée soit juste.

On sait que la loi de Mariotte est vraie seulement pour les gaz parfaits et qu'il faut lui apporter des corrections. Mais on comprend en même temps ce qu'il faut entendre par gaz parfait et on entrevoit qu'en tenant compte de l'éloignement du point critique on pourra trouver une formule très générale qui remplacera la loi de Mariotte et ne nécessitera pas de corrections.

La beauté, la commodité, la simplicité ont peut-

être un sens plus profond. Je ne veux pas dire qu'il faille s'extasier sur l'harmonie de la nature. Ce mot employé objectivement n'a aucun sens. Admirer l'harmonie de la nature, c'est admirer la compréhension qu'on en a, c'est s'admirer soi-même. Mais ce qui nous donne l'impression de beauté, de commodité, de simplicité, d'harmonie, c'est ce qui est accordé avec notre cerveau, c'est ce qui convient au rythme de nos colloïdes nerveux, et comme ceux-ci sont eux-mêmes le résultat d'une longue adaptation ancestrale, il est possible que cette impression soit dans une certaine mesure un gage de vérité.

*
* *

Je reviens à l'esquisse de l'évolution des progrès accomplis dans la connaissance de la matière.

La doctrine moléculaire, qui formait une si belle synthèse des propriétés colligatives de la matière, ne cadrait pas avec tous les faits. Dans certains cas, les prévisions de la théorie étaient en désaccord avec la réalité, et toujours la discordance était de même sens. L'abaissement du point cryoscopique, la diminution de tension de vapeur, la tension osmotique étaient plus considérables que ne le faisait prévoir la théorie. Les solutions se comportaient comme si le nombre des molécules du soluble était plus considérable qu'il ne l'était en réalité. Tous les corps qui se comportaient ainsi étaient des électrolytes.

Il fallait abandonner la théorie ou la modifier. Après les approximations de Grothus, de Clausius, Arrhénius formula une hypothèse séduisante qui fait rentrer dans la théorie moléculaire les faits qui paraissaient en contradiction avec elle. Dans les solutions électrolytiques un certain nombre de molé-

cules se brisent en deux parties, et chacune de ces deux parties se comporte, au point de vue des propriétés colligatives, comme une molécule entière.

Ces fragments de molécules sont les ions et ce qui les caractérise surtout, au point de vue énergétique, c'est qu'ils portent une charge électrique, soit positive, soit négative, mais la même pour tous.

Non seulement la conception d'Arrhénius permet de raccorder à la théorie moléculaire les faits qui lui semblaient contraires, mais elle éclaire d'un jour nouveau les phénomènes électrolytiques. Le passage du courant dans une solution d'électrolyte apparaît comme opérant simplement un triage entre les ions, ceux qui sont chargés négativement se portant vers le pôle positif, ceux qui sont chargés positivement vers le pôle négatif.

Et l'ionisation explique de même le fait que les gaz deviennent conducteurs sous l'influence des rayons X ou des rayons γ des substances radioactives.

Il faut bien se rendre compte de cette prodigieuse étape de la science. Elle établit des relations entre certaines propriétés physiques, tension de vapeur, tension osmotique, point cryoscopique, et le nombre des molécules. Ces relations constituent des lois. Mais, c'est là ce qui est vraiment admirable, l'un des termes de la relation est non plus un phénomène, mais un fait matériel, et un fait qui paraissait jusque-là tout à fait hypothétique, l'existence de la molécule.

La molécule, qui rendait des services en chimie, qui était *commode* pour le chimiste, a les mêmes avantages pour le physicien. Elle groupe en un ensemble concordant d'une belle tenue des phénomènes qui ne paraissaient pas avoir de liens directs.

Est-ce là une coïncidence, comme l'on le dit sou-

vent? Non, c'est une concordance. Ces concordances sont fréquentes et elles imposent à l'esprit la valeur des hypothèses qui y conduisent. Elles l'imposent à l'esprit, non point par une question de pur sentiment, non point pour la satisfaction qu'elles donnent, mais parce qu'elles sont des démonstrations *a posteriori*.

***

Par la théorie moléculaire la science change d'échelle. La physique étudiait les phénomènes à l'échelle molaire : la théorie moléculaire permet de les étudier à l'échelle moléculaire et de concevoir les phénomènes élémentaires dont la sommation produit les phénomènes molaires. Elle a donc le caractère d'une explication. C'est une étape capitale qui fait pénétrer plus avant dans l'étude de la nature.

La molécule, qui était une conception primitivement chimique, entre dans la physique. Ce n'est point la chimie qui va englober la physique, c'est, au contraire, la physique qui tend à absorber la chimie. Mais ce n'est pas l'existence de la molécule qui conduit à cette absorption, c'est le fait que la molécule a une énergie. Les ions, avec leur charge électrique, nous ont fait entrevoir cette énergie liée à la matière. On peut déjà concevoir que c'est la cinétique qui fera l'unité de la science, et que l'énergétique, bien loin d'être opposée à la doctrine moléculaire et atomique, lui est au contraire étroitement associée.

L'énergie des particules de matière, molécules ou atomes est révélée chaque jour par des phénomènes qui, malheureusement, n'éveillent plus la curiosité dans les esprits superficiels que l'habitude satisfait. La force de dilatation d'une barre métallique, la force expansive de la glace en fournissent des

preuves. La cohésion des corps solides, une goutte d'eau suspendue à un robinet démontrent la puissance des attractions moléculaires.

Il n'est pas besoin d'être un savant, il suffit d'observer avec curiosité pour constater la prodigieuse puissance de l'énergie qui maintient dans leurs rapports les éléments de la matière.

Cette énergie paraît être sous deux états : une énergie d'attraction et une énergie cinétique.

La théorie cinétique a été conçue et développée bien avant qu'on eût donné la moindre démonstration directe du mouvement des molécules. Et je ne puis m'empêcher de voir là encore une merveilleuse adaptation du cerveau des grands savants. La molécule était à l'état de commodité chimique, l'énergétique était dans l'enfance quand Bernoulli conçut la théorie cinétique des gaz.

La démonstration directe des mouvements des molécules, ébauchée par Gouy, a été donnée par Perrin dans ses études sur le mouvement brownien, et encore j'exagère un peu en parlant de démonstration directe : il y a une part d'interprétation, car personne n'a jamais vu une molécule, à plus forte raison une molécule en mouvement, et les lois mêmes de la lumière ne permettent guère d'espérer qu'on puisse en voir prochainement.

Les particules microscopiques en suspension dans un liquide sont animées d'un mouvement d'oscillation qui continue indéfiniment. On l'a observé au sein de gouttelettes liquides incluses dans du cristal de roche depuis les temps géologiques, c'est-à-dire depuis des millions d'années.

Plusieurs savants se sont demandé si l'agitation incessante des particules en suspension n'était pas due aux chocs qu'elles subissent de la part des molécules en mouvement. Pour que ces particules

restent en suspension, il faut qu'elles soient maintenues par une force faisant équilibre à la pesanteur. Si cette force est due à l'énergie cinétique des molécules, elle doit varier dans une colonne verticale de liquide suivant la hauteur et le nombre des grains maintenus en suspension doit varier dans le même sens. J. Perrin, dans des expériences d'une ingéniosité et d'une précision admirables, est arrivé à observer ce qui se passe dans une colonne de liquide sur une hauteur de 100 millièmes de millimètre et il a montré que la loi de répartition des grains en suspension est la même que la loi de répartition des molécules gazeuses. Il a montré en outre que l'énergie cinétique est la même pour toutes les molécules dissoutes, c'est-à-dire que le produit de la masse d'une molécule par le carré de sa vitesse est une constante.

Partant de là, par une série de mesures effectuées sur des grains microscopiques en suspension, Perrin a cherché à déterminer la constante d'Avogrado, c'est-à-dire le nombre de molécules de tous les gaz qui, enfermées à la température de 0° centigrade dans un espace de 22 litres 4, développe une pression de 1 atmosphère. Il est arrivé au chiffre moyen de 70×10^{22}.

D'autres savants avaient cherché à déterminer la constante d'Avogrado en partant de phénomènes très différents, la viscosité des gaz, la charge des ions, les rayons X des corps radioactifs. Et tous sont arrivés à des résultats concordants. On ne s'attend pas, j'imagine, à ce qu'ils soient tous arrivés au même nombre. Il faudrait pour cela n'avoir aucune idée de la difficulté des observations faites à cette échelle. Mais tous les calculs conduisent au même ordre de grandeur.

C'est là un résultat admirable. Le progrès réalisé

est énorme. Avogrado avait conçu que sous un même volume, à la même température, à la même pression, le nombre des molécules est le même pour tous les gaz. Mais on n'avait aucune idée de ce nombre : c'était une relation permettant d'écrire des égalités. Les travaux modernes établissent quel est dans des conditions données le nombre des molécules d'une masse gazeuse. C'est là une connaissance d'un caractère absolu.

On pouvait jadis écrire : le nombre des molécules d'un gaz est proportionnel au volume, à la température et à la pression. On peut écrire aujourd'hui : le nombre des molécules d'un gaz pris sous tel volume, telle température, telle pression est de telle grandeur. Ainsi, par exemple, 1 millimètre cube d'hydrogène renferme 36.000.000 de milliards de molécules.

Je viens de dire qu'il y a là une connaissance absolue. Il faut insister sur ce point. Cette connaissance n'est pas précise. On ne peut pas préciser le nombre des molécules à quelques millions d'unités près. Mais, précision et certitude sont, je l'ai dit déjà, deux notions tout à fait différentes et c'est pour les avoir confondues que l'on parle si souvent de la valeur relative de la Science. Nous ne savons pas avec précision le nombre exact de molécules comprises dans une masse liquide ou gazeuse, mais nous savons avec certitude l'ordre de grandeur de ce nombre.

Connaissant le nombre des molécules qui constituent un molécule-gramme d'un corps, une simple division suffit à donner le poids moléculaire absolu. Ce calcul fait pour l'hydrogène donne un nombre qui s'écrirait de la manière suivante :

0 gr. 00000000000000000000000288.

La science est ainsi arrivée à des connaissances d'une nature absolue sur la matière.

La notion du zéro absolu permettait déjà de mesurer des quantités de chaleur absolues. Comme il n'est pas de problème où n'interviennent la matière et la température, les notions absolues acquises sur ces points donnent forcément aux autres grandeurs une valeur absolue.

J'ai déjà dit que les relations entre les phénomènes qui sont formulées sous forme de lois ont une valeur absolue, ce qui veut dire simplement que tous les phénomènes y sont soumis. Ce sont des relations d'un caractère absolu, ou si l'on veut des nécessités. Nous sommes arrivés maintenant à un autre ordre de connaissances. Il ne s'agit plus de relation, mais de faits matériels.

C'est une conquête extrêmement importante. Elle doit désarmer ceux qui considèrent la Science comme n'ayant qu'une valeur relative. Car vraiment, on ne peut parler à la fois de grandeurs moléculaires absolues et de valeur relative de la Science; la contradiction serait trop violente.

*
* *

La théorie cinétique, qui s'appuie aujourd'hui sur des bases si solides, explique les propriétés des gaz, des vapeurs, des solutions. Comment les explique-t-elle? Je l'ai indiqué dans le chapitre consacré au hasard. Des molécules animées de mouvements dont la vitesse augmente sous l'influence de la température — de par le hasard c'est-à-dire en vertu de ce que j'ai appelé la règle de constance — se comportent nécessairement de telle sorte que le résultat global est conforme aux lois de Mariotte et de Gay-Lussac. De même la tension de vapeur, la

pression osmotique s'expliquent par les mouvements désordonnés des molécules.

Ainsi ce que nous appelons la causalité apparaît comme le résultat d'ensemble d'énergies qui, à l'échelle des molécules, sont livrées au hasard sans aucune orientation. Au fond, c'est là ce qu'on exprimait en disant qu'il n'y a pas de cause finale. Mais on ne s'en apercevait pas.

Il faut bien convenir d'ailleurs que la négation des causes finales et l'affirmation du principe de causalité entraînaient un certain malaise. On sentait là une sorte de contradiction. Car on avait beau dire qu'une loi n'exprime rien autre chose qu'un état séquent après un état antécédent, on ne pouvait s'empêcher de voir dans le principe de causalité une certaine orientation, à moins de n'y rien voir du tout. Et cette obscure contradiction ouvrait le champ de la Science à une sorte de métaphysique.

La théorie cinétique libère de cet embarras. Grâce à elle, le principe de causalité n'a plus rien de mystérieux. Le hasard, le hasard vrai, c'est-à-dire l'absence de toute cause à l'échelle des molécules, a pour résultat global ou molaire des conséquences qui s'expriment dans le langage de la causalité. Les lois sont des nécessités arithmétiques. Et ceci permet d'entrevoir que les choses ne pourraient pas être autrement qu'elles sont, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'autres réalités possibles que celles que la Science est arrivée à connaître partiellement.

*
* *

La matière se présente sous une autre forme que les gaz, les liquides, les solides elle se présente sous l'état colloïdal, et il est dès maintenant cer-

tain que cet état joue un rôle capital dans les phénomènes de la vie.

Il est caractérisé par des agrégats moléculaires dont les dimensions sont de l'ordre du millième de millième de millimètre, et qui sont électrisés les uns positivement, les autres négativement. Ces agrégats, les grains colloïdaux, sont très différents des ions qui ne sont que des fragments de molécules. Les grains colloïdaux sont visibles à l'ultramicroscope et ils apparaissent agités sans cesse de mouvements browniens.

Tous les protoplasmas sont à l'état colloïdal et l'état vivant paraît lié à cet état. Mais la réciproque n'est pas vraie : l'état colloïdal n'est pas lié à l'état de vie.

Si dans la nature on ne trouve guère de substances à l'état colloïdal qui n'ait une origine animale ou végétale, le savant sait préparer la plupart des corps sous cet état. La préparation des colloïdes se fait industriellement.

Les corps préparés artificiellement à l'état colloïdal ont des propriétés qui diffèrent considérablement de celles qu'ils ont sous d'autres états et qui ressemblent singulièrement à celles des substances vivantes.

On a parlé à diverses reprises, dans les ouvrages de vulgarisation, de synthèse de la vie. Faire la synthèse de la vie, ce serait préparer artificiellement de la substance vivante, c'est-à-dire faire un être vivant. Personne n'a jamais rien fait de tel. On n'a jamais produit artificiellement une substance capable d'assimiler.

Mais on a réalisé des préparations dont certaines propriétés ressemblent ou même sont identiques à quelques propriétés de la substance vivante.

Les tentatives orientées dans ce sens sont de plu-

sieurs ordres. Les unes sont d'ordre morphologique. On sait que les tissus vivants sont formés de cellules, c'est-à-dire de petits utricules microscopiques contenant un noyau et entourées le plus souvent d'une membrane d'enveloppe. Dès 1866, Traube, en laissant tomber une goutte de solution de sulfate de cuivre dans une solution de ferrocyanure de potassium, réalisait des cellules artificielles. La réaction des deux corps amène la formation d'une membrane gélatineuse de ferrocyanure de cuivre qui entoure les gouttes. Quincke, Hartwig, puis Bütchli et Herrera sont arrivés à des résultats analogues, ces derniers avec des oléates alcalins. Leduc a modifié les liquides de Traube et rendu les effets plus saisissants. En ajoutant du sucre à la solution de sulfate de cuivre, de la gélatine et du chlorure de sodium au ferrocyanure de potassium, il obtient des formations arborescentes qui peuvent atteindre 50 centimètres de hauteur. Elles sont sensibles aux poisons et aux anesthésiques. Elles s'orientent sous l'influence de la lumière, c'est-à-dire qu'elles présentent des phénomènes de tropisme comme les êtres vivants. Leduc est même arrivé à produire des phénomènes comparables à la karyokinèse, c'est-à-dire au mode de division le plus compliqué des cellules vivantes.

Il ne s'agit pas là de génération artificielle. Ce serait une très grosse erreur de le croire. Ces phénomènes se passent à une échelle qui n'est pas celle de la vie. Les expériences que je viens de résumer n'en ont pas moins un intérêt pour ceux qui croient encore à une force vitale. En réalisant artificiellement des phénomènes comparables à ceux qu'on attribuait à cette force, elles montrent que ces derniers sont produits par des énergies physico-chimiques.

Les expériences de Lœb et de Delage sur la par-

thénogénèse expérimentale conduisent à la même conclusion. Ces auteurs ont réussi à faire développer des œufs d'oursins et d'astéries, sans aucun contact avec les spermatozoïdes, en les plongeant dans des solutions salines. Quelque interprétation que l'on donne à ces expériences, elles montrent en tout cas que des phénomènes biologiques très complexes sont d'ordre physico-chimique.

J'ai dit que personne n'avait produit expérimentalement la vie. Burke avait cru le faire avec le radium, mais les vacuolides dont les apparences l'avaient trompé étaient dues, comme l'a montré Ramsay, à des bulles de gaz produites par la décomposition de l'eau sous l'influence du radium.

Il n'en reste pas moins que les expériences de Leduc, de Lœb, de Delage montrent qu'un certain nombre de phénomènes considérés comme caractéristiques de la vie s'expliquent par le jeu de forces physico-chimiques.

Bien plus intéressants encore me paraissent être les résultats obtenus par Daniel Berthelot au moyen des rayons ultra-violets. Il a réalisé des phénomènes de décomposition, de polymérisation, d'oxydation et de synthèse. Je ne puis les citer tous, mais il est impossible de ne pas rappeler ici certaines décompositions et certaines synthèses.

Sous l'influence des rayons ultra-violets, la décomposition des corps organiques solides se fait avec des dégagements gazeux qui rappellent ceux de la fermentation, ce qui établit de grandes analogies sinon l'identité entre le mode d'action des rayons ultra-violets et celui des ferments.

Plus importantes sont les synthèses. Pour la première fois Daniel Berthelot a reproduit, en dehors des êtres vivants, les réactions fondamentales de la synthèse chlorophyllienne des hydrates de carbone.

Or, la synthèse chlorophyllienne paraissait un phénomène propre à la substance vivante et il l'a réalisé en partant des éléments les plus simples — l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau — sous la seule influence des rayons ultra-violets. « Dans des conditions non moins frappantes de simplicité », il a réalisé la synthèse de l'amine formique, « point de départ des corps quaternaires et des substances albuminoïdes qui forment la base du protoplasma et de la matière vivante ».

L'introduction de l'énergie radiante dans les recherches expérimentales de cet ordre constitue une méthode nouvelle d'une extrême importance. Elle permettra peut-être de réaliser la synthèse véritable de la substance vivante. Ce résultat frapperait davantage l'imagination, mais dès maintenant, entre les mains de Daniel Berthelot, la méthode en a donné qui sont d'un intérêt philosophique au moins égal. Mieux qu'aucune autre, elle montre que tout se réduit à des problèmes énergétiques, puisque ces phénomènes de synthèse, de décomposition, de polymérisation se produisent sous la seule influence de l'énergie radiante introduite sans support matériel, et elle prouve l'importance des phénomènes de résonance, auxquels Le Dantec avait été conduit par voie déductive.

Les colloïdes artificiellement préparés, les colloïdes métalliques, par exemple, ont certaines propriétés qui paraissaient propres à la substance vivante et que le mysticisme le plus rêveur ne peut plus attribuer à la force vitale. Ils sont coagulables par la chaleur, par les bases qui agissent surtout sur les colloïdes électronégatifs, par les acides qui agissent surtout sur les électropositifs. Ils produisent les mêmes effets que certaines diastases, qui jouent un si grand rôle chez les êtres vivants. Le platine col-

loïdal transforme l'alcool en acide acétique, comme fait la diastase produite par le *mycoderma aceti*. L'iridium colloïdal décompose le formiate de chaux, comme font les diastases d'autres bactéries.

L'action des diastases est hors de proportion avec leur abondance. Il en est de même pour les pseudo-solutions colloïdales, véritables ferments métalliques. Une partie de platine colloïdal peut décomposer plus d'un million de fois son poids d'eau oxygénée.

D'autre part, les ferments métalliques, comme les ferments organiques, sont très sensibles à certains agents. La chaleur, des traces d'acide sulfhydrique, de sublimé, d'acide cyanhydrique les empoisonnent, les rendent inactifs. La lumière aussi a une action sur eux.

Il est démontré par là que l'action des diastases, qui paraissait si mystérieuse, est due uniquement à des forces physico-chimiques. On va plus loin, on analyse les raisons de ces propriétés particulières des corps à l'état colloïdal et on entrevoit qu'elles peuvent se ramener à trois : la charge électrique de chaque grain, leur petitesse qui les réduit en quelque sorte à une couche superficielle. On sait que dans les couches superficielles d'un liquide, et même d'un solide, les molécules ont des champs d'action dissymétriques qui les différencient des molécules occupant les couches profondes. L'un des effets de cette dissymétrie est la formation autour de chaque grain colloïdal d'une couche de quelques millioniėmes de millimètre d'épaisseur, dite couche d'adsorption, où le liquide prend des caractères particuliers. C'est la troisième condition. Quel que soit le détail des explications, on peut considérer que toutes les propriétés des colloïdes sont d'ordre énergétique. Les expériences de Daniel Berthelot ne laissent aucun doute sur ce point.

Les organismes sont principalement formés de systèmes colloïdaux. Les réactions normales ou pathologiques qui caractérisent la vie ont pour siège des colloïdes. On entrevoit qu'elles pourront toutes s'expliquer par des phénomènes d'adsorption, des modifications de l'état électrique des grains colloïdaux, des changements dans leurs dimensions, par des agglutinations, des coagulations, tous phénomènes réalisables avec les colloïdes artificiels et, par conséquent, déterminés par des forces physico-chimiques.

Si ces forces permettent d'expliquer un très grand nombre de phénomènes et ceux-là mêmes qui paraissaient les plus mystérieux, cependant elles n'expliquent pas tout.

CHAPITRE V

L'Éther.

SOMMAIRE. — Impossibilité d'expliquer le monde avec la matière et l'énergie. — Nécessité de l'éther.

L'atome. — Les décharges cathodiques dans les tubes de Crookes. — La radio-activité.

Désintégration et dématérialisation. — L'électron. — Principes de la conservation de la matière et de l'énergie. — L'avenir du monde.

Avec de l'énergie et de la matière, il est impossible d'expliquer le monde. La gravitation et toutes les radiations se transmettent au travers des espaces sidéraux dépourvus de matière pondérable.

Jadis beaucoup d'esprits acceptaient sans répugnance l'idée d'actions à distance. Cette idée est devenue intolérable pour les cerveaux modernes.

Jamais on n'a vu une énergie se manifester en dehors de la matière. Ce qu'on est tenté d'appeler une production d'énergie n'est qu'une libération ou une transformation. Cette libération ou cette transformation ne se produit jamais sans matière. Mais certaines énergies manifestées se transmettent d'un corps matériel à un autre sans intermédiaire de matière pondérable.

Si l'on excepte la gravitation, sur la nature de laquelle nous ne savons rien, les énergies qui se

transmettent ainsi sont des radiations ou des vibrations.

Nous ne pouvons concevoir une vibration sans quelque chose qui vibre ; ce quelque chose, on le nomme l'éther.

Maxwell est arrivé à cette conception géniale qu'un rayon lumineux est constitué par la propagation d'oscillations électromagnétiques. Les rayons de Hertz sont venus donner à cette conception une éclatante confirmation. On peut les produire à volonté par un dispositif électrique spécial et démontrer expérimentalement qu'ils sont dus à des oscillations électromagnétiques perpendiculaires à la direction de propagation. D'autre part, on peut répéter avec eux presque toutes les expériences qu'il est classique de faire avec la lumière. Ils se propagent avec la même vitesse de 300.000 kilomètres à la seconde. Ils se réfléchissent, se réfractent, se diffractent, interfèrent comme les rayons lumineux. Est-on autorisé à dire qu'ils sont des rayons lumineux ? Ils en diffèrent uniquement par la fréquence des oscillations, ou, si l'on préfère, par la longueur d'onde, car ces deux phénomènes sont connexes. Ce sont des rayons lumineux agrandis. On n'est point arrivé à produire des ondulations hertziennes d'une longueur d'onde inférieure à 10 millimètres, et les plus grandes longueurs d'onde de la gamme infrarouge du spectre sont de l'ordre du millième de millimètre.

Mais à l'autre extrémité du spectre se trouvent les rayons ultra-violets dont la longueur d'onde est de deux dix-millièmes de millimètre, et, au delà, nous trouvons encore les rayons X dont la pulsation unique a une longueur d'un dix-millième de millimètre.

Il reste vrai qu'entre les rayons de Hertz et les

rayons infra-rouges existe une lacune, tandis qu'on n'en trouve plus en remontant des rayons infra-rouges aux rayons ultra-violets et celle qui existe entre ces derniers et les rayons X est bien moindre. On ne désespère pas d'ailleurs de combler la lacune qui persiste entre les rayons de Hertz et les rayons infra-rouges. M. Gustave Le Bon pense que les pointes électrisées et les corps radioactifs émettent des ondes hertziennes n'ayant pas plus de 2 à 3 millimètres de longueur. Si grande encore que soit la lacune, elle n'est pas de nature à empêcher de considérer les deux phénomènes comme étant de même ordre. La théorie électromagnétique de la lumière a rallié tous les physiciens.

La loi du carré des distances nous montre que l'éther est un honnête courtier. Il transmet les énergies intégralement sans rien leur faire perdre ni en quantité, ni en tension.

Nous savons, d'autre part, que les transmissions dont il est l'agent se font avec une prodigieuse rapidité. La vitesse de la lumière est de 300.000 kilomètres à la seconde.

Bien qu'on discute encore sur ce point, on peut admettre qu'il n'y a pas de frottement entre les astres et l'éther.

Enfin l'éther n'a pas de masse; il est impondérable.

Ces quelques notions peuvent être exprimées sous forme d'équations, qui sont les équations de l'éther.

Quant à se représenter ce milieu, qui jouit de propriétés aussi extraordinaires, il faut y renoncer complètement. Nous ne pouvons nous représenter les choses qu'en les rapprochant d'autres antérieurement connues. Le point de comparaison pour l'éther ne peut être fourni que par la matière. Si on

veut se faire une idée de l'éther en le comparant à la matière, on arrive aux contradictions les plus violentes, à des absurdités.

L'absence de masse, l'absence de viscosité conduiraient à le considérer comme une sorte de gaz infiniment subtil. Mais, d'autre part, la vitesse de transmission des vibrations matérielles est liée au coefficient d'élasticité des corps. La rapidité de transmission par l'éther est si grande qu'il faudrait lui attribuer une rigidité très supérieure à celle de l'acier. Comment concevoir un milieu plus rigide que l'acier et qui n'a ni masse ni viscosité? Mais nous ne sommes plus au temps où « l'inconcevabilité » dominait l'expérience. Celle-ci montre que certaines vibrations se transmettent avec une vitesse énorme dans un milieu qui n'a ni viscosité, ni masse. Ce milieu, nous l'appelons l'éther.

Il peut paraître très simple de dire que ce mot n'est qu'une commodité de langage et qu'il ne désigne rien d'autre qu'un ensemble de propriétés. Cette attitude a même été considérée comme très scientifique : il ne me semble pas qu'elle le soit, bien au contraire. Admettre des propriétés sans substratum, c'est une attitude métaphysique. Pour rester dans la bonne méthode scientifique, on doit donc admettre que l'éther est une réalité, mais une réalité qu'il est impossible de comparer à aucune autre et que nous ne pouvons par conséquent concevoir.

L'éther n'est qu'un transmetteur d'énergie. On est donc conduit à se demander quelle est la source des énergies qu'il transmet.

*
* *

Cette source est dans la matière; mais les recherches modernes nous conduisent à penser qu'elle

n'est ni dans les molécules, ni même dans les atomes, et qu'elle a son siège dans les électrons.

L'atome est bien l'unité élémentaire des corps tels que les étudient la physique et la chimie. C'est une unité douée d'une stabilité telle qu'on a pu la considérer comme indivisible.

Mais les effets produits au niveau de la cathode par une décharge dans un tube de Crookes, et d'autre part les phénomènes dont les corps radioactifs sont le siège ont conduit à considérer l'atome comme un système planétaire très complexe.

Les rayons canaux de l'ampoule de Crookes et les rayons α des corps radioactifs sont des corpuscules matériels électrisés positivement. Les rayons cathodiques et les rayons β sont chargés d'électricité négative. Ces notions sont aujourd'hui banales.

On conçoit l'atome comme un système solaire formé d'un centre électrisé positivement, entouré d'un grand nombre de planètes, les électrons, électrisés négativement et tournant autour du centre avec une grande vitesse. Les rayons cathodiques et les rayons β sont formés par des électrons qui échappent à l'attraction et prennent un mouvement tangentiel d'une vitesse énorme.

Ainsi les rayons canaux et les rayons α d'une part, les rayons cathodiques et les rayons β d'autre part, sont dus à une désagrégation de l'atome. Dans l'ampoule de Crookes, sous l'influence des décharges électriques, spontanément, dans les corps radioactifs, les atomes se désagrègent.

Pour M. Gustave Le Bon, tous les corps présentent une certaine radioactivité, de telle sorte que toute la matière serait en voie de désagrégation. Celle-ci se produit plus rapidement dans les corps radio-actifs, plus lentement dans les autres. Le mot rapidité a ici un sens qu'il faut préciser :

pour les hommes, c'est une extrême lenteur. La mesure de la vitesse du phénomène n'a d'ailleurs aucune précision. Becquerel avait estimé la durée d'un gramme de radium à un milliard d'années. Rutherford l'évalue à un millier d'années; Crookes arrive seulement à une centaine. Pour les corps dont la radioactivité est si faible qu'on la discute, la désagrégation est sans importance pratique et on peut vraiment continuer à considérer leur masse comme invariable.

La désintégration de certains corps n'en reste pas moins un fait établi et du plus haut intérêt.

En est-il de même de la dématérialisation? Ce mot ne peut avoir qu'un sens : il ne peut signifier que la disparition de la masse. La seule substance dépourvue de masse, je ne dis pas que nous connaissions, mais que la Science ait été conduite à imaginer comme substratum aux vibrations, c'est l'éther. La dématérialisation serait donc la transformation de la matière en éther. Elle amènerait à considérer la matière pondérable comme formée d'éther et d'énergie.

Qu'est-ce qui a conduit à cette idée de dématérialisation? C'est l'électron, et voici comment :

Les rayons cathodiques et les rayons β des corps radioactifs ne sont pas des vibrations. Ce sont des électrons; ils se comportent comme des projectiles; ils ont une énergie cinétique.

Mais les expériences de Kaufmann et les calculs d'Abraham, qui sont d'ailleurs d'une admirable concordance, conduisent à ce résultat que les électrons n'ont pas de masse. Leur inertie est due à l'induction magnétique développée autour d'eux par leur charge électrique et leur vitesse. C'est ce qu'on exprime en disant que leur masse est fictive et d'origine purement électromagnétique.

Au contraire, les rayons canaux et les rayons α sont des particules matérielles dont le poids atomique est celui de l'atome d'hélium. Comme on trouve de l'hélium dans toutes les substances qui contiennent du radium, on a été conduit à penser que les rayons α sont réellement formés d'un atome d'hélium portant une charge électrique positive. Ramsay et Soddy ont constaté que l'émanation du radium emprisonné dans un tube à vide donne au bout de quelques jours la raie spectroscopique caractéristique de l'hélium.

Ainsi on se trouve en présence d'un ensemble cohérent. Les atomes des corps radioactifs se désagrègent en donnant de l'hélium et des électrons. L'hélium est une matière pondérable dont le poids atomique est quadruple de celui de l'hydrogène. Au contraire, les électrons n'ont point de masse.

Est-il légitime de conclure de là que les corps radioactifs se dématérialisent? Oui, si la masse des électrons est réellement nulle et si le poids d'hélium dégagé au cours de l'opération est inférieur au poids du radium disparu. Non, dans le cas contraire.

Peut-on considérer que ces deux points sont définitivement acquis? Ce serait être bien confiant.

La théorie de l'électron dépourvu de masse est-elle satisfaisante? N'est-elle pas remplie de contradictions? Les propriétés de l'électron sont fictives : elles ne lui appartiennent pas; elles sont réductibles à des propriétés de l'éther ambiant. L'électron est un point singulier de l'espace où il n'y aurait plus d'éther, un trou dans l'éther.

On l'appelle souvent l'atome d'électricité. Le mot atome semble être pris alors dans un sens tout spécial, puisqu'il n'y a rien de matériel. Ce n'est cependant pas une image. Il a deux significations. Il désigne l'unité de charge électrique, et, pris dans

ce sens, il conduit à considérer l'énergie électrique comme discontinue. Nous ne pouvons pas nous représenter une énergie discontinue, ni une charge électrique sans substratum matériel, mais, je l'ai déjà dit, l'inconcevabilité n'est pas un argument.

Pris dans l'autre sens, le mot atome d'électricité exprime que l'électron, bien que n'ayant pas de masse, a cependant une signification matérielle. S'il n'en avait aucune, il n'aurait pas conduit à penser que la matière se dématérialise. On ne peut pas faire perdre à un atome de sa masse sans lui en enlever. La signification matérielle de l'électron est très importante. Comme sa masse est purement fictive et d'origine électromagnétique, certains physiciens en ont conclu que toute masse, y compris celle de la matière pesante, est de même nature.

Je ne puis m'empêcher de me demander s'il n'y a pas là une sorte de jeu de mots. Masse n'est-il pas pris ici dans le sens d'inertie?

En mécanique, ces deux mots sont synonymes. Ils ont la même valeur, parce que la mécanique rationnelle est une science où l'on fait abstraction des frottements. Mais dans le cas des électrons n'ont-ils pas une valeur différente?

Voici ce que je veux dire. Un mobile plongé dans un fluide quelconque, par son mouvement même, produit derrière lui un sillage qui le retient. Son inertie n'est pas due uniquement à sa masse. Pour doubler la vitesse d'un bateau, il faut élever l'énergie qui le meut environ au cube. Cette inertie, variable avec la vitesse, est comparable à la masse fictive de l'électron et elle n'intervient pas dans l'énergie cinétique du bateau dont la force vive est toujours représentée par la formule $\frac{1}{2} m v^2$.

Les électrons ont une énergie cinétique. Ils ont

une force de pénétration considérable ; en frappant certains corps, ils produisent les rayons X. S'ils n'ont pas de masse réelle, le produit $\frac{1}{2} m v^2$ est égal à zéro. Comme leur énergie cinétique est incontestable, il faut faire intervenir leur inertie électromagnétique. Cela est-il légitime? Si l'on prenait l'inertie d'un mobile plongé dans un fluide, au lieu de sa masse, pour calculer sa force vive, on arriverait à des erreurs. Peut-on arriver à la vérité en introduisant la masse fictive de l'électron dans le calcul de sa force vive? Il est impossible de le dire, car nous ne savons pas si la mécanique ordinaire est applicable à l'électron.

Certains physiciens pensent d'ailleurs que la masse de l'électron n'est pas nulle : ils la considèrent comme deux mille fois moindre que celle de l'hydrogène. S'ils ont raison, avant de parler de dématérialisation véritable, il faudrait avoir bien constaté que le poids de l'hélium, joint au poids des électrons dégagés, est inférieur à celui du corps radioactif disparu.

En tout cas, la désagrégation de ces corps est incontestable, et elle est du plus haut intérêt.

La quantité et l'intensité de l'énergie dégagée lors de leur désagrégation démontrent l'énergie intra-atomique. Celle-ci apparaît comme le grand agent de tous les phénomènes.

S'il règne encore bien des incertitudes sur l'idée que l'on doit se faire des électrons, leur existence est certaine. Ils sont animés dans l'atome de mouvements de rotation d'une extrême rapidité.

Comme les molécules animées de vitesse ont permis de faire une magnifique synthèse des propriétés colligatives de la matière, l'électron conduit à une autre synthèse plus grandiose encore. Envisagé

comme l'unité de charge électrostatique, il est la cause par ses déplacements du courant électrique. Il est sans doute aussi la cause de la valence chimique, la facilité avec laquelle les atomes perdent un ou plusieurs électrons représentant la mono ou la plurivalence. La rapidité de ses mouvements, augmentée par la chaleur, est très probablement enfin la cause des vibrations électromagnétiques qui produisent la lumière.

*
* *

Même si l'on admet que l'électron n'a pas de masse, et que la matière se dématérialise réellement, la Science ne sera pas par là profondément touchée. L'émotion que l'on éprouve à cette idée est bien plus d'ordre sentimental que d'ordre scientifique. Ce qui serait touché, c'est une sorte de foi obscure en la matière qui persiste dans le cœur des savants, mais non la Science.

La matière, même si sa masse est purement électromagnétique, même si elle se dématérialise, n'en conserve pas moins à l'échelle molaire les caractères que nous sommes habitués à lui attribuer. Les lois scientifiques restent valables.

Est-ce à dire que rien ne sera changé dans la Science? En aucune façon. Il faudra changer ou modifier deux principes; mais le savant doit toujours être prêt à changer ou au moins à modifier les principes. On s'est si bien habitué aux deux grands principes de la permanence de la matière et de la permanence de l'énergie, qu'on les considère comme définitifs et intangibles. Cette attitude n'est pas vraiment scientifique. Le savant ne doit pas éprouver d'émotion bien grande s'il est démontré qu'il faut les changer, ou, s'il en éprouve une, ce doit être de

la joie, car un changement de principe est toujours un progrès.

Si l'on démontre que la matière se dématérialise, au lieu de deux invariants, la matière et l'énergie, nous n'en aurons plus qu'un. Comme la matière en se désagrégeant libère une énorme quantité d'énergie, on sera conduit à chercher un équivalent énergétique de la matière : le grand invariant sera une certaine fonction de l'énergie et de la matière, et celui-là sera peut-être, lui aussi, transitoire. Peut-être faudra-t-il lui adjoindre l'éther. Certains physiciens, Larmor entre autres, considèrent la matière comme une sorte de condensation de l'éther. En partant de l'électron, on serait plutôt conduit à considérer la matière comme des trous dans l'éther, mais ce sont là des hypothèses : nous ne savons pas.

*
* *

En se servant des notions scientifiques acquises, on a cherché à prédire l'avenir du monde. La dégradation de l'énergie, l'entropie nous apprennent que toutes les énergies marchent vers l'uniformité de tension. Le principe de Carnot nous enseigne que des énergies à la même tension n'ont plus aucune action l'une sur l'autre. L'uniformité de tension énergétique, c'est donc la mort, je veux dire l'absence de tout phénomène. On entrevoit une époque infiniment lointaine où les astres, ramenés à la même température, n'échangeront plus ni lumière, ni chaleur. Alors la force gravifique, qui ne paraît pas soumise à la dégradation, roulera dans l'immensité et dans l'obscurité des astres morts.

Quelques-uns ont calculé dans combien de milliards d'années notre système solaire sera réduit à cet état. C'est là jeux de mathématiciens. Ils con-

duisent à des prédictions plus qu'à des prévisions.

M. Gustave Le Bon va plus loin encore. Admettant que la dématérialisation est un phénomène général, il envisage le moment où la matière aura définitivement disparu, et il ajoute : « La matière est retournée à l'éther primitif d'où des centaines de millions de siècles et des forces inconnues pourraient seules la faire de nouveau surgir, comme elle a surgi aux âges lointains où s'esquissaient dans le chaos les premiers linéaments de notre univers. Le commencement des choses ne fut sans doute qu'un recommencement. Rien ne permet de penser qu'elles puissent commencer ni qu'elles puissent finir. »

Avec la dématérialisation partielle, on arrive d'ailleurs à un ensemble assez cohérent. Les nébuleuses s'organisent en systèmes solaires. Ceux-ci, après des millions de siècles, se dématérialisent partiellement. La dématérialisation libère des électrons qui s'anéantissent dans l'éther et de l'hélium qui va reconstituer des nébuleuses. Le cycle est éternel.

Ce sont là des hypothèses, mais des hypothèses d'un caractère scientifique. Ce qu'elles contiennent de vérité ou d'erreur, nous ne le savons pas, mais nous n'avons pas le droit de les ranger dans l'inconnaissable. Elles n'échappent pas aux prises de l'expérience : elles pourront être un jour infirmées, confirmées ou modifiées scientifiquement.

CONCLUSIONS

Il est bien des cerveaux que des hypothèses de ce genre, même démontrées, ne satisferaient pas. Les hommes commencent et ils finissent. De là l'idée de commencement et de fin. Ceux qui ont conservé dans le tréfonds d'eux-mêmes la tare du fétichisme primitif associent l'idée de but à l'idée de fin et demandent quel est le but de l'univers.

Tant que les hommes poseront à la science des questions de ce genre, ils pourront parler d'inconnaissable. L'étude des lois et des principes ne leur fournira jamais de réponse. Mais ils finiront bien par s'apercevoir que ces questions ont une origine endogène et ils ne seront pas loin alors de penser qu'elles n'ont aucun sens.

Le but, c'est la finalité, qui n'a rien à voir dans la science. J'ai essayé de montrer que le calcul des probabilités, en faisant concevoir les lois comme des nécessités arithmétiques, libère complètement de cette idée.

Il faut remarquer aussi qu'un but n'a de sens que pour une partie d'un tout. C'est l'utilisation de certaines parties en faveur de l'une d'elles. Supposer que l'univers a un but, c'est admettre qu'il existe autre chose que l'univers et comme univers veut dire TOUT, cela n'a aucun sens.

En somme, il n'y a pas de questions insolubles, mais il y a beaucoup de questions mal posées. Rien n'autorise à penser que dans le domaine exogène il y ait quelque chose d'inconnaissable.

Si l'on envisage le magnifique ensemble de la science actuelle, on peut dire que les hommes sont de grands savants. Mais si l'on envisage ce qui reste à connaître, on peut dire aussi bien qu'ils sont de grands ignorants.

La Science est incomplète, la Science est imprécise, mais elle est. Les lois qu'elle a découvertes, quelque imparfaites qu'elles soient, sont valables. S'il existe dans d'autres planètes des êtres pensants qui soient arrivés à la Science, leurs lois sont plus ou moins précises, plus ou moins complètes que les nôtres, mais elles sont du même ordre. Il n'y a pas d'autre connaissance que la nôtre, qui est vraiment la connaissance de la nature.

Tout ce livre peut se résumer dans cette courte phrase : « Nous ne sommes pas dupes. »

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE II

L'ABSTRACTION ET LES GRANDES ABSTRACTIONS

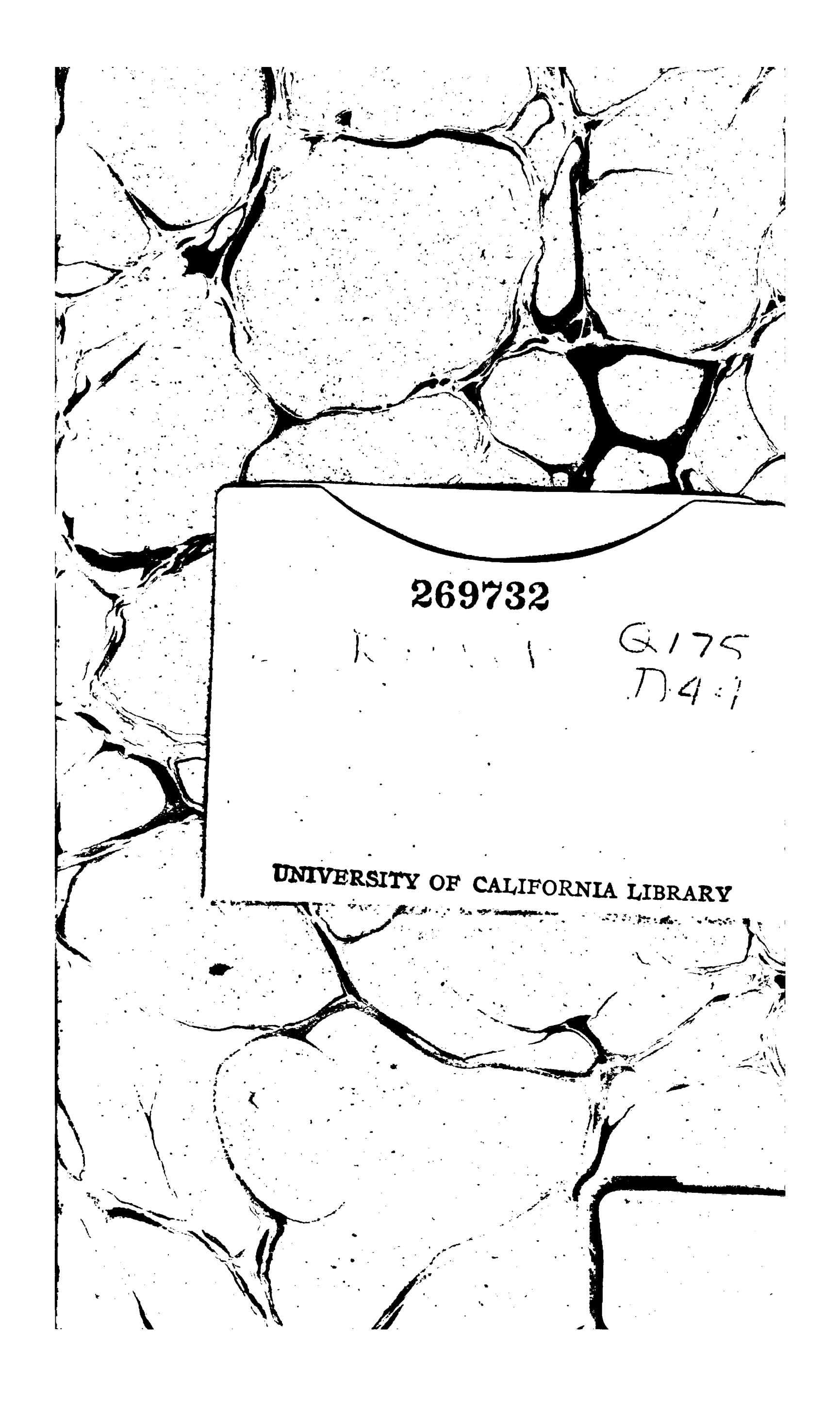
LIVRE III

GÉNÉRALISATION ET EXTRAPOLATION

LIVRE IV

DÉMONSTRATION ET DÉCOUVERTE — LE HASARD

6449. — Paris. — Imp. Hemmerlé et Cie. — (3-13).



269732
Q175
D4:1
UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

